

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA  
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE LA TERRE  
DEPARTEMENT D'AGRONOMIE



Réf : ...../UAMOB/F.SNV.ST/DEP.AGRO/20

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOMEMASTER

**Domaine** : SNV    **Filière** : Sciences Alimentaires  
**Spécialité** : Agroalimentaire et Contrôle de Qualité

**Présenté par :**

**BENYAHIA Salima**

**LARIBI Manel**

*Thème*

**L'irradiation des aliments et ses effets sur la qualité  
vitaminique**

**Soutenu le :** 30 /09/ 2020

**Devant le jury composé de :**

*Nom et Prénom*

*Grade*

Mm TAUDIAT

MAB.

Univ. de Bouira

Président

Mr MALIOU

MAB.

Univ. de Bouira

Examineur

Mm HAMIUD

MCB.

Univ. de Bouira

Promoteur

Mm IAZZOURENE

MCB

Univ. de Bouira

Co-promoteur

*Année Universitaire : 2019/2020*



## Remerciements

Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer nos remerciements tout  
D'abord au bon Dieu le tout puissant de nous avoir accordé santé et  
Courage pour accomplir ce travail.

Nous tenons à remercier très chaleureusement notre promoteur **Mme  
HAMIOUD**, notre guide par excellence, qui a accepté de nous encadrer,  
Aussi bien pour ses conseils, sa disponibilité, son soutien, son aide,  
Son orientation et surtout pour sa patience, soyez assuré, monsieur, de  
Notre estime et de notre profond respect.

Nous tenons à remercier **Mme IAZZOURENE** qui nous a bénéficié de son  
savoir scientifique.

Notre sincère gratitude va aussi aux membres du jury à  
**Mme TAUDIAT ; Mr MALIOU**, d'avoir accepté de juger ce  
présent travail.

Sans oublier à remercier nos enseignants qui ont assistés à notre  
formation et enfin pour tous ceux et celles qui nous ont aidé d'une  
façon ou d'une autre pour réaliser ce travail.

**Salima et Manel**



## Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :  
A mon père Hamouche et ma mère Faroudja

*Qui m'ont éclairé le chemin de la vie par leur grand soutien et leurs  
encouragements, par leur  
Énormes sacrifices, qu'ils m'ont consentis durant mes études et qui  
ont toujours aimé me voire réussir.*

Au nom de la famille

A mes trésors frères Abed Alkarim et sa femme Naima,  
Boudjamaa et Atman

A mes adorables sœurs Mariama ,Hadjira et Souria

A mes cousins Antar et Mouhand

A mes chères amis Zuina et Taous

A ma binôme manale *qui a partagé ce travail avec moi.*

A ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin.

Salima



## Dédicaces

Je dédie ce travail A mes chers parents qui m'ont éclairé le chemin de la vie par leur grand soutien et leurs encouragements, par leur énormes sacrifices, qu'ils m'ont consentis durant mes études et qui ont toujours aimé me voire réussir.

A mes chère frères Ilyas et Loucif qui mon toujours soutenus et toujours étaient présent avec moi.

A mes adorables soeurs : LILIANE, KATIA

A Ma chère amie et binôme Salima qui a partagé ce travail avec moi.

A toute ma famille et toutes mes amies.

**Manel**

# TABLE DES MATIÈRES

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale .....1

## CHAPITRE I

### L'IRRADIATION DES ALIMENTS ET SES EFFETS

Aperçu historique .....	3
1. Définition d'irradiation .....	4
2. Les objectifs et principe du traitement par irradiation.....	4
2.1. Les objectifs.....	4
2.2. Principe de l'ionisation.....	5
3. Les propriétés et les caractéristiques d'irradiation .....	6
3.1. Les propriétés : .....	6
3.2. Les caractéristiques .....	6
3.2.1. Dose d'irradiation.....	6
3.2.2. Débit de dose .....	7
4. Applications pratiques de l'irradiation des aliments .....	7
4.1. Doses employées et effets de l'irradiation.....	7
4.2. Quelques applications classiques de l'irradiation des aliments.....	9
4.2.1. Inhibition de la germination.....	9
4.2.2. Désinsectisation .....	10
4.2.3. Allongement de la durée de conservation des denrées périssables.....	11
4.2.4. Retardement de la maturation et du vieillissement des fruits et légumes .....	11

4.2.5. Destruction des parasites .....	11
4.2.6. Lutte contre les toxi-infections alimentaires.....	12
5. Effets de l'irradiation sur la qualité des aliments.....	12
5.1. Effet d'irradiation sur la valeur nutritionnelle.....	13
5.1.1. Protéines : .....	13
5.1.2. Carbohydrates .....	13
5.1.3. Lipides .....	14
5.1.4. Vitamines .....	14
5.1.5. Furane.....	15
5.1.6. Autres composants.....	15
5.2. Effets d'irradiation sur les caractéristiques organoleptiques.....	15
5.3. Effet d'irradiation sur les microorganismes .....	16
5.3.1. Effets sur les bactéries .....	17
5.3.2. Effets sur les levures et moisissures.....	19
5.3.3. Effets sur les virus (et prions) .....	21
5.3.4. Effets sur les parasites .....	21
5.3.5. Effets sur les insectes ravageurs.....	21

## **CHAPITRE II : LES VITAMINES**

1. Définitions.....	23
2. Classification .....	23
3. Sources .....	23
4. Les besoins nutritionnels et les apports nutritionnels conseillés .....	25
4.1. Les besoins nutritionnels.....	25
4.2. Les apports nutritionnels.....	25
5. Métabolisme.....	25
6. Fonctions physiologiques principales.....	26
7. Physiopathologie : constitution d'une carence .....	28
7.1. Mécanisme .....	28
7.2. Étiologies des carences .....	28
7.3. Personnes à risque .....	30

<b>8. Prévention des carences vitaminiques.....</b>	<b>30</b>
<b>9. Conservation des vitamines .....</b>	<b>31</b>
<b>10. Sensibilités des vitamines .....</b>	<b>31</b>

### **CHAPITRE III : EFFETS DE L'IRRADIATION SUR LA TENEUR EN VITAMINES ALIMENTAIRES**

<b>1. Effets des radiations ionisantes sur la teneur en vitamines des produits .....</b>	<b>33</b>
<b>1.1. Légumineuses .....</b>	<b>33</b>
<b>1.2. Les noix de pécan (<i>Carya illinoensis</i>).....</b>	<b>36</b>
<b>1.3. Le kiwi .....</b>	<b>37</b>
<b>1.4. Préparations pour nourrissons.....</b>	<b>37</b>
<b>1. 5. Fruits de mangue .....</b>	<b>38</b>
<b>2. Conclusions acquises par de nombreux travaux scientifiques .....</b>	<b>39</b>
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>41</b>

#### **Références bibliographiques**

#### **Annexes**

## **LISTE DES ABRÉVIATIONS**

**L'OMS** : Organisation Mondiale de Santé

**MeV** : Méga électron volt

**KGy** : Kilo Gray

**DRD** dose de réduction décimale

**Vit** : vitamines

**HPLC** : *High Performance Liquid Chromatography* (la chromatographie en phase liquide à haute performance)



## **LISTE DES FIGURES**

<b>Fig.01 :</b> Les types de rayonnement électromagnétique composant le spectre énergétique.....	3
<b>Fig.02 :</b> Comparaison de pommes de terre traitées et de pommes de terre non traitées après six mois d'entreposage .....	9
<b>Fig.0 3 :</b> Positionnement des principales cibles des traitements sur une gamme de doses de rayonnements ionisants.....	17
<b>Fig. 04 :</b> L'effet de la dose d'irradiation $\gamma$ sur la vitamine C .....	38

## Listes des tableaux

Tableau 01 : Doses nécessaires dans diverses applications de l'irradiation .....	8
Tableau 02 : valeurs DRD (en kGy) des principaux dangers bactériens à transmission alimentaire .....	18
Tableau 03: valeurs DRD (en kGy) d'agents bactériens d'altérations alimentaires.....	19
Tableau 04 : valeurs DRD (en kGy) et dose d'ionisation pouvant prévenir la croissance (en kGy) de diverses levures .....	20
Tableau 05: valeurs DRD (en kGy) et dose d'ionisation pouvant prévenir la croissance (en kGy) de diverses moisissures .....	20
Tableau 06 : La classification et les sources de chaque vitamine .....	24
Tableau 07: Principales fonctions physiologiques des vitamines.....	27
Tableau 08 : Sensibilité des vitamines aux agents physico-chimiques.....	31
Tableau 09 : Applications des rayonnements ionisants dans les aliments.....	33
Tableau 10: Teneur totale en caroténoïdes (mg/100 g) dans les échantillons de pois chiches irradiés et non irradiés, de haricots rouges et de lentilles pendant le stockage. Valeur moyenne et erreur standard (n=3).....	34
Tableau 11 : Teneur en thiamine (ppm) dans les échantillons de pois chiches irradiés et non irradiés, de haricots rouges et de lentilles pendant le stockage. Valeur moyenne et erreur standard (n=3).....	35
Tableau 12 : Teneur en riboflavine (ppm) dans les échantillons de pois chiches irradiés et non irradiés, de haricots rouges et de lentilles pendant l'entreposage. Valeur moyenne et erreur standard (n=3) .....	35
Tableau 13 : Niveaux moyens de thiamine (mg /100 g) dans le niébé non cuit et cuit après application de différentes doses d'irradiation (kGy). .....	36
Tableau 14 : Teneur en vitamine E des noix de pécan irradiées.....	37

## Introduction générale

Pour vivre, une des obligations de l'homme est de se nourrir. Ses aliments, il a commencé d'abord à les cueillir, les chasser ou pêcher ; il les a ensuite cultivés et élevés. Il a peu à peu appris à les conserver et à les cuisiner.

Nourrir les hommes, les alimenter au mieux tout en évitant les pertes est peut être le principal défi posé aux nations. Face aux diverses sources d'altérations des aliments, l'homme a opposé un ensemble de techniques de conservation (salage, séchage, fumage ; réfrigération, congélation, surgélation ou lyophilisation et l'irradiation...etc.). On sait que toutes les méthodes de conservations ont des effets négatives/positives sur la qualité finale de produit traité (**Federighi M ; 2019**).

L'objectif de notre travail est d'étudier l'utilisation des rayonnements ionisants comme méthode de conservation des aliments et leurs effets sur la teneur en vitamines de ces derniers.

Tout d'abord nous avons essayé de donner une idée générale sur l'irradiation qui est une méthode de conservation et de décontamination des aliments qui consiste à soumettre ceux-ci à un rayonnement ionisant. Ce rayonnement a, d'une part, la capacité de tuer certains microorganismes responsables de la contamination ou de la dégradation de l'aliment. D'autre part, dans les aliments d'origine végétale, l'irradiation inhibe la germination (pommes de terre, oignons...) en arrêtant la multiplication de certaines cellules à division très rapide (méristèmes). L'irradiation ralentit également le processus physiologique du mûrissement des fruits (**Michèle Le Bar et al ;1998**).

Ensuite nous avons abordé quelques généralités sur les vitamines qui sont des substances organiques, sans valeur énergétique propre, agissant à faible dose. Elles sont indispensables à l'organisme car l'homme ne peut les synthétiser en quantité suffisante. Leur absence dans la ration alimentaire a pour conséquence, à moyen ou à long terme, le développement de maladies de carence.

Les vitamines constituent un groupe de molécules très hétérogène sur le plan de leurs caractéristiques physicochimiques, de leur métabolisme et de leur mode d'action. Si les plantes et les micro-organismes auxotrophes peuvent fabriquer toutes les vitamines dont ils ont besoin, il n'en est pas de même pour l'homme et les animaux à qui le régime alimentaire doit fournir ces éléments indispensables (**Guilland JC et al ; 2009**).

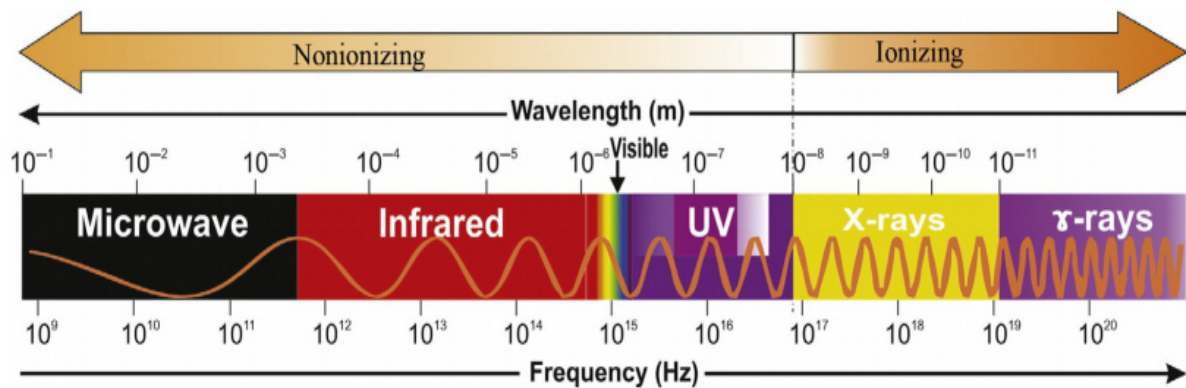
Enfin, on s'est intéressé par la synthèse de quelques travaux scientifiques qui démontrent expérimentalement l'utilisation de cette méthode sur les denrées alimentaires et les résultats qui sont obtenus puisque on a pas pu effectuer un travail pratique à cause des conditions qui règnent à l'échelle mondial, ils s'agit bien de l'épidémie du COVID-19.

# Chapitre I : l'irradiation des aliments et ses effets

## Aperçu historique

Le rayonnement est toute énergie se propageant dans l'espace sous forme d'ondes ou de particules. Ça peut être classé comme ionisant et non ionisant, en fonction de son énergie. L'énergie ionisante est caractérisée par une courte longueur et fréquence d'énergie plus élevée (Fig.01). En effet, ils peuvent rompre les liaisons chimiques dans les molécules, provoquant des altérations du fonctionnement normal des cellules.

Les rayonnements ionisants, en particulier les rayons X, ont été découverts en 1895 par Wilhelm Conrad Röntgen. La radioactivité a été reconnue une année plus tard, quand Henri Becquerel a découvert que les sels d'uranium émettaient de l'énergie qui pouvait pénétrer dans la matière opaque.



**Fig. 1** : Les types de rayonnement électromagnétique composant le spectre énergétique.

Les effets de l'irradiation sur les aliments ont été rapidement étudiés, bien que les premières études étaient simplement effectuées à l'échelle laboratoire. L'absence de sources puissantes d'énergie ionisante était la plus pertinente limitation pour faire une exploration approfondie des effets de l'irradiation sur les aliments. Cependant ces premières études ont démontré les effets bactéricides et nématocides des rayonnements ionisants et étaient principalement réalisées à l'aide de rayons X. La disponibilité accrue de matières / sources radioactives (c.-à-d.  $Cs^{137}$ ,  $Co^{60}$  et générateurs de rayons X) et de puissants accélérateurs ont facilité la recherche sur l'irradiation des aliments. Parmi les premières applications de l'irradiation dans les aliments d'origine végétale, le brevet britannique de 1909 qui proposait l'utilisation de l'irradiation pour maintenir la qualité des céréales. L'utilisation de l'irradiation pour éviter la germination des tubercules et des bulbes a été proposée en 1936. En 1958, un accélérateur d'électrons était établi à Stuttgart (Allemagne) pour irradier les épices à l'échelle commerciale, mais un an plus tard l'irradiation a été interdite dans ce pays. L'irradiation à des fins

phytosanitaires était d'abord utilisée au niveau commercial à la fin des années 1980 pour expédier certains fruits vers les États-Unis de Porto Rico et d'Hawaï. Dans les années 1990, une installation d'irradiation était construite en Floride pour traiter les pamplemousses.

De nombreux pays utilisent actuellement l'irradiation pour lutter contre les insectes et à d'autres fins. Plusieurs préoccupations justifiées et non justifiées concernant l'irradiation des aliments a maintenu l'utilisation de cette technologie à l'échelle commerciale sans changement significatif pour un long moment; Cependant, cette technologie suscite actuellement un intérêt et un besoin croissants dans le secteur alimentaire (**Prakash Anuradha et al ; 2019**).

### **1. Définition d'irradiation**

L'irradiation des aliments consiste à exposer des aliments à des rayonnements ionisants afin de réduire le nombre de micro-organismes qu'ils contiennent. Même si c'est une méthode controversée de conservation des aliments, elle est très utilisée.

Ce procédé a été autorisé par la Food and Drug Administration et le Département de l'Agriculture des États-Unis. L'OMS l'a accepté pour l'alimentation humaine après des recherches scientifiques extensives.

Il diffère de la stérilisation car il ne vise pas nécessairement à détruire la totalité des germes ; l'irradiation détruit efficacement certains micro-organismes et de nombreuses bactéries du genre *Vibrio* (*V. vulnificus*, *V. cholerae*, *V. parahaemolyticus*), par exemple, mais on connaît des souches très résistantes à la radioactivité ou radio résistantes (**Chandni Praveen et al ; 2013**).

L'irradiation des aliments, aussi dénommée ionisation des aliments, fait partie des procédés de pasteurisation à froid parce qu'elle expose l'aliment à un rayonnement ionisant et ne suppose pas de traitement thermique, tout en visant la conservation des aliments.

Ces deux derniers termes sont également utilisés car plus positifs aux yeux du public qu'irradiation. Dans l'Union Européenne les obligations d'étiquetage ne retiennent pas l'expression « pasteurisation à froid » mais imposent la mention « traité par rayonnements ionisants » ou « traité par ionisation » (**Souverain R ; 1977**). On parle également de radio - conservation des aliments.

## **2. Les objectifs et principe du traitement par irradiation**

### **2. 1. Les objectifs**

On peut distinguer deux objectifs principaux:

#### **2.1.1. Ralentir la dégradation du produit**

En empêchant la germination des bulbes et tubercules ou en réduisant les populations d'insectes et de micro-organismes (bactéries, levures, moisissures) responsables de la dégradation ou de la maturation naturelle de l'aliment.

#### **2.1.2. Augmenter les qualités hygiéniques de l'aliment**

- en détruisant les micro-organismes et les insectes présents dans les fruits secs, les céréales et les légumes.
- en éliminant les bactéries pathogènes présentes dans les épices et les volailles ainsi que les vers parasites de certaines viandes : bactéries comme les *Salmonella spp* ou les *Listeria monocytogènes*, ou vers de type *Trichinella spiris* ou *Taenia solium* (Clinquart A ; 2005).

### **2. 2. Principe de l'ionisation**

Il s'agit d'un procédé physique de traitement des aliments qui consiste à exposer des denrées emballées ou en vrac à des rayonnements électromagnétiques (rayons X ou  $\gamma$ ) produits par une source radioactive (cobalt) ou à celle de faisceaux d'électrons (électrons accélérés). Les aliments sont soumis soit à un rayonnement gamma (issu du cobalt 60), soit à des rayons X d'énergie inférieure à 5 méga-électron-volt (MeV), soit à des électrons accélérés de moins de 10 MeV. Le résultat sur le produit est équivalent.

Il convient de rappeler que l'ionisation des aliments, dans les conditions autorisées pour la mise en œuvre de ce procédé, ne rend pas les aliments « radioactifs » et par conséquent l'évaluation de leur sécurité n'a donc pas à considérer les dangers liés à l'exposition directe à une radiation induite (émission des particules alpha, bêta, gamma, rayons X).

Les sources de cobalt nécessitent des mesures de confinement permanent et des autorisations spéciales pour le stockage de la source radioactive et son élimination par un organisme agréé.

Les accélérateurs d'électrons consomment de l'énergie et l'énergie utilisée est inférieure à 10 Mev pour ne pas produire de radioactivité induite. Ce procédé s'accompagne de mesures de confinement et de radio-protection uniquement pendant le fonctionnement.

Le principal effet technologique attendu de l'ionisation des aliments est de réduire la charge microbienne. Le mécanisme d'action de l'effet antimicrobien a été associé à la formation de radicaux libres (en particulier OH<sup>•</sup>) et de peroxyde d'hydrogène dans le cytosol, qui interfèreraient avec les processus biochimiques des bactéries (ex. dommage d'ADN) et dont l'effet létal est connu (SCF ; 2003).

L'intérêt de l'ionisation en agroalimentaire réside essentiellement dans la pénétration du rayonnement au cœur de la denrée à travers l'emballage (évite toute recontamination liée à des manipulations) et sans élévation de température (applicables aux produits frais ou congelés). Les effets des radiations ionisantes augmentent avec la dose appliquée et sont comparables à ceux de la chaleur, bien qu'il n'y ait pas d'élévation notable de température. L'objectif sanitaire recherché est conditionné par la dose délivrée :

- Faibles doses (jusqu'à 1 kGy): induit une inhibition de la germination, désinsectisation et déparasitage, ralentissement d'un processus biologique (ex. maturation).
- Moyens doses (1-10 kGy) : prolongation de la conservation (1 à 3 kGy), élimination des agents d'altération et de microorganismes pathogènes (1 à 7 kGy), amélioration des propriétés techniques des aliments (diminution du temps de cuisson) (2 à 7 kGy).
- Fortes doses (10-50 kGy) : stérilisation industrielle (30-50 kGy), décontamination de certains additifs alimentaires (10-50 kGy) (OMS ; 1995).

L'efficacité du traitement ionisant dépend de la matrice et de la charge bactérienne initiale. L'ionisation peut être améliorée par exemple par l'utilisation d'atmosphère contrôlée pour appliquer une dose plus faible. En effet, les doses élevées ne peuvent être employées que sur des produits à l'état solide, déshydratés ou congelés pour éviter les modifications de l'aspect et des qualités organoleptiques. Les tendances actuelles sont donc à l'association de plusieurs procédés.

### **3. Les propriétés et les caractéristiques d'irradiation**

#### **3. 1. Les propriétés**

- L'irradiation ne produit pas de radioactivité dans les aliments et matériaux d'emballage. Le seuil d'induction de radioactivité est de 10 à 12 MeV, alors que les photons émis par une source de Co<sup>60</sup> ont respectivement des énergies de 1,17 MeV et 1,33 MeV.
- L'irradiation est un processus physique comparable au traitement par chaleur ou par froid ;
- L'irradiation ne cause pratiquement pas d'élévation de température dans le produit traité. A titre d'exemple, une dose de 50 KGy est équivalente à 12 calories seulement.



- L'irradiation peut être appliquée à tout type d'emballage en raison du pouvoir de pénétration des rayonnements gamma (**Boussaha A ; 1986**).

### **3. 2. Les caractéristiques**

#### **➤ Dose d'irradiation**

La dose d'irradiation représente la quantité d'énergie absorbée par unité de masse du matériel soumis au rayonnement. Celle-ci est exprimée en gray (Gy) « un gray correspond à une absorption d'un joule par kilogramme » ou en kilogray (kGy). En générale les traitements mis en oeuvre dans l'industrie agro-alimentaire font appel à une gamme de doses allant de 0.05 kGy à 10 kGy (**Gallien L ;1966**).

#### **➤ Débit de dose**

Il représente l'énergie absorbée par unité de temps et s'exprime en Gy/s.

1Gy = 100 rads = 1 j/kg = 0,239 cal/kg

10 kGy = 1 Mrad (**Gallien L ; 1966**).

### **4. Applications pratiques de l'irradiation des aliments**

Les recherches importantes menées depuis une quarantaine d'années ont fait la preuve que l'utilisation des rayonnements ionisants constitue une technique utile et sûre en matière de transformation alimentaire.

Mais il va de soi que l'intérêt théorique de cette méthode ne se concrétise que si on la met en pratique. On trouvera dans le présent chapitre un bref exposé des applications pratiques de l'irradiation dans l'industrie alimentaire, avec indication des modalités d'utilisation et des résultats obtenus. Le chapitre se termine par l'examen des problèmes particuliers que pose cette technique dans les pays développés ou en développement (**OMS ; 1989**).

#### **4. 1. Doses employées et effets de l'irradiation**

Pour chaque application de l'irradiation des produits alimentaires, il existe une dose minimale en dessous de laquelle le résultat visé n'est pas atteint. Le Tableau 1 indique les doses nécessaires pour certaines applications classiques de la technique.

**Tableau 1 :** Doses nécessaires dans diverses applications de l'irradiation (OMS ; 1989).

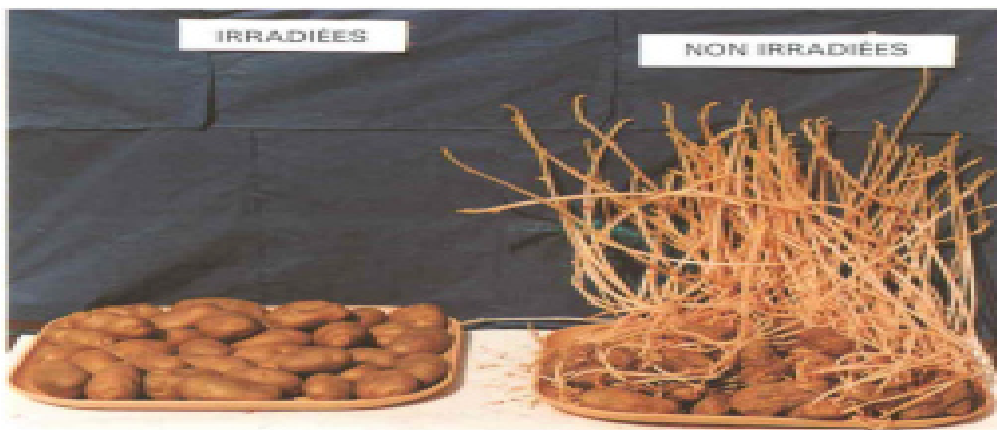
<b>Doses employées</b>	<b>But</b>	<b>Doses (kGy)</b>	<b>Produits</b>
<b>Faibles doses</b> (jusqu'à 1 kGy)	<i>a)</i> Inhibition de la germination	0,05-0,15	Céréales et légumineuses, fruits frais et secs, poisson et viande séchés, porc frais etc.  Fruits et légumes frais
	<i>b)</i> Désinsectisation et déparasitage	0,15-0,50	
	<i>c)</i> Ralentissement d'un processus physiologique (par exemple maturation)	0,50-1,0	
<b>Dose moyenne</b> (1-10 kGy)	<i>a)</i> Prolongation de la conservation	1,0-3,0	Poisson frais, fraises, etc.  Fruits de mer, frais et congelés, volaille et viande crues ou congelés, etc.  Raisin (augmentation du rendement en jus), légumes déshydratés (diminution de la durée de cuisson), etc.
	<i>b)</i> Elimination des agents d'altération et des microorganismes pathogènes	1,0-7,0	
	<i>c)</i> Amélioration technique des aliments	2,0-7,0	
<b>Forte dose</b> (10-50 kGy)	<i>a)</i> Stérilisation industrielle (associée à un traitement à température modérée)	30-50	Viande, volaille, fruits de mer, aliments prêts à l'emploi, rations hospitalières stérilisées  Epices, préparations d'enzymes, gommes naturelles, etc.
	<i>b)</i> Décontamination de certains additif et ingrédients alimentaires	10-50	

#### 4. 2. Quelques applications classiques de l'irradiation des aliments

On trouvera ci-dessous quelques exemples d'utilisation des rayonnements ionisants en vue d'assurer la sécurité et la qualité alimentaire : ils illustrent les applications effectives qui ont lieu de nos jours à l'échelle industrielle ou à titre expérimental (OMS ; 1989).

#### 4. 2. 1. Inhibition de la germination

A faibles doses, l'irradiation inhibe la germination des pommes de terre (voir Fig. 2) et des tubercules d'igname, des oignons et de l'ail, du gingembre et des châtaignes. La dose nécessaire pour empêcher les pommes de terre et l'igname de germer est de 0,08-0,14 kGy, les doses correspondantes étant de 0,04-0,10 kGy pour le gingembre, 0,03-0,12 kGy pour les oignons, l'échalote et l'ail et d'environ 0,20 kGy pour les châtaignes. La dose précise dépend dans chaque cas de la variété et des autres caractéristiques du produit.



**Fig. 2 :** Comparaison de pommes de terre traitées et de pommes de terre non traitées après 6 mois d'entreposage (OMS ; 1989).

Bien que, pour certaines variétés, la cuisson confère aux pommes de terre irradiées une coloration foncée plus nette que dans le cas de pommes de terre non irradiées et que, par ailleurs, les pommes de terre irradiées soient moins résistantes à la pourriture, l'irradiation industrielle est pratiquée depuis 1973 au Japon, pays où les inhibiteurs chimiques de la germination sont interdits. Le succès du système japonais s'explique en grande partie par le soin apporté à la manipulation du produit avant et après le traitement, au niveau du tri, du séchage et de l'entreposage. L'irradiation est efficace pour l'inhibition prolongée de la germination et pour la conservation des qualités de l'oignon et de l'ail pendant leur stockage. L'irradiation industrielle de ces produits est pratiquée en Hongrie et en République démocratique allemande. Dans d'autres pays Argentine, Bangladesh, Chili, Israël, Philippines, Thaïlande et Uruguay on a mis en vente à titre expérimental des quantités limitées de pommes de terre, oignons et ail irradiés.

La régulation de la germination de l'orge au cours du maltage importance considérable sur le plan économique. L'irradiation de l'orge séchée à l'air, à des doses de 0,25-0,50 kGy, n'empêche pas la pousse des germes et des vrilles pendant le maltage mais retarde

sensiblement la croissance des racines. De la sorte, on peut obtenir un malt de qualité tout en limitant les pertes associées à la croissance racinaire. Comme cet effet de l'irradiation dure au moins sept mois, ce traitement peut être pratiqué avant que l'orge soit entreposée, ce qui présente l'avantage supplémentaire de détruire les insectes ravageurs éventuellement présents dans les graines.

Une très faible irradiation (à la dose de 0,01-0,10 kGy) stimule la germination de l'orge, ce qui permet de réduire la durée du maltage et d'augmenter la capacité de production des malteries (OMS ; 1989).

#### **4. 2. 2. Désinsectisation**

L'irradiation à doses relativement faibles (ne dépassant pas 0,50 kGy) détruit ou stérilise tous les stades de développement des insectes ravageurs qu'on trouve couramment dans les céréales, y compris les œufs pondus à l'intérieur de la graine.

Les fruits séchés, les légumes et les fruits à coque sont sensibles à l'attaque des insectes et pour certains d'entre eux, spécialement les fruits, seule une irradiation assure une désinfestation efficace à la différence de tout autre procédé physico-chimique. L'irradiation à raison de 0,2-0,7 kG y de produit convenablement conditionné empêche la réinfestation ce qui permet d'éliminer le problème des insectes dans les fruits et les légumes desséchés et dans les fruits à coque.

La même technique permettrait d'atténuer sensiblement les pertes de poisson séché, source importante de protéines dans de nombreux pays en développement. La désinfestation par irradiation peut contribuer sensiblement au développement du commerce de certains produits tropicaux ou subtropicaux, par exemple les agrumes, les mangues et les papayes. En permettant d'empêcher l'importation d'insectes nuisibles tout en éliminant la présence de résidus, l'irradiation peut valablement se substituer à la fumigation comme moyen de satisfaire aux règlements de quarantaine en vigueur dans certains pays. La mouche des fruits, par exemple, et même le charançon qui pénètre profondément à l'intérieur de la graine de mangue, peuvent être détruits par l'irradiation.

La désinfestation est pratiquée à l'échelle industrielle en Union soviétique où une unité de traitement par bombardement électronique a été mise en place en 1980, à Port Odessa, pour le traitement des céréales importées (OMS ; 1989).

#### **4. 2. 3. Allongement de la durée de conservation des denrées périssables**

L'une des principales applications de l'irradiation des aliments consiste dans la destruction des micro-organismes qui provoquent l'altération ou Applications pratiques la détérioration du produit. La quantité de rayonnements nécessaires pour en limiter la prolifération ou pour les éliminer dépend de la radiotolérance de l'agent en cause et de l'effectif présent dans la quantité d'aliment à traiter.

Pour de nombreux fruits et légumes, la viande, la volaille, le poisson et les fruits de mer, la durée de conservation peut être considérablement augmentée - certainement doublée - par un traitement associant la réfrigération et une irradiation à dose relativement faible, traitement qui ne modifie ni la saveur ni la texture. La plupart des agents d'altération sont détruits à des doses inférieures à 5 kGy. Divers fruits frais, notamment les fraises, les mangues et les papayes, ont ainsi été irradiés et commercialisés avec succès. Pour les fruits qui sont sensibles aux fortes doses, on peut associer un traitement thermique modéré (immersion dans l'eau chaude), une irradiation à faible dose et un conditionnement convenable (OMS ; 1989).

#### **4. 2. 4. Retardement de la maturation et du vieillissement des fruits et légumes**

L'exposition à de faibles doses de rayonnement retarde la maturation et le vieillissement de certains fruits et légumes, donc une plus grande durée de conservation. Ce résultat de l'irradiation a été découvert à l'occasion d'études sur le rôle des rayonnements comme moyen de limiter la prolifération des micro-organismes. L'importance et même le sens des modifications ainsi obtenues dépend de la dose et de l'état de maturation au moment du traitement. Des doses de 0,3-1,0 kGy permettent d'obtenir une augmentation mesurable de la durée de conservation. A ce niveau, les mangues se conservent environ une semaine de plus et les bananes jusqu'à deux semaines. La maturation des champignons et de l'asperge peut être freinée après la récolte moyennant une irradiation à des doses comprises entre 1,0 et 1,5 kG y (OMS ; 1989).

#### **4. 2. 5. Destruction des parasites**

L'irradiation inactive certains parasites responsables de maladies humaines et de zoonoses. Le ver rond parasite responsable de la trichinose, *Trichinella spiralis*, que l'on trouve dans la viande de porc, est inactivé par irradiation à une dose d'au moins 0,15 kGy. D'autres parasites comme le ténia du bœuf (ténia inerme) et le ténia du porc (ténia armé), le protozoaire responsable de la toxoplasmose qui se trouve dans la viande de porc et diverses douves qui infestent le poisson, sont rendus non infectieux par irradiation à faible dose (OMS ; 1989).

#### **4. 2. 6. Lutte contre les bactéries**

Les maladies d'origine alimentaire provoquées par les micro-organismes constituent un problème de gravité croissante pour l'industrie de transformation alimentaire et d'industrie de la restauration. L'irradiation pourrait jouer dans le traitement des aliments solides d'origine animale et des denrées alimentaires desséchées un rôle aussi important que le traitement thermique (pasteurisation) dans le traitement du lait liquide et des jus de fruits. La dose relativement faible nécessaire pour détruire les bactéries pathogènes non sporulées qu'on trouve dans les aliments, par exemple *Salmonella*, *Campylobacter*, *Listeria* et *Yersinia*, fait de cette technique un moyen très efficace pour prévenir les graves problèmes de santé publique provoqués par ces micro-organismes.

De très nombreuses observations montrent que l'irradiation pratiquée dans les conditions industrielles normales, à une dose qui n'entraîne pas de transformation inacceptable du produit alimentaire, élimine les bactéries pathogènes non sporogènes présentes dans la viande rouge, la volaille et le poisson. La distribution de ces produits se fait à la fois à l'état frais et à l'état congelé mais il semble que, dans certains pays, l'irradiation des produits congelés soit plus facile à mettre en œuvre. Une dose de 2-7 kGy suffit à neutraliser les agents pathogènes présents dans la viande, la volaille, les œufs cuits durs hachés, les crevettes et cuisses de grenouille congelées, sans entraîner de transformations inacceptables du produit. L'irradiation a l'avantage de limiter la contamination microbienne des ingrédients alimentaires secs, ce qui améliore l'innocuité et l'aptitude au stockage des aliments qui en contiennent. Très souvent, les épices, les assaisonnements végétaux desséchés, les herbes aromatiques, l'amidon, les concentrés protéiques et les préparations enzymatiques commerciales qu'on utilise dans l'industrie alimentaire sont fortement contaminés par des agents d'altération et des agents pathogènes : une irradiation à la dose de 3-10 kGy en assure la décontamination sans avoir d'effets indésirables sur la saveur, la texture ou d'autres propriétés (OMS ; 1989).

#### **5. Effets de l'irradiation sur la qualité des aliments**

Les effets de l'ionisation sur la chimie des aliments ont été abondamment examinés depuis les années soixante. En termes généraux, l'effet de l'ionisation consiste initialement à déposer de l'énergie dans le milieu, ce qui produit des radicaux libres (comme le radical OH<sup>•</sup>). Ces radicaux libres réagissent avec les divers composants des aliments. La composition des aliments, la température d'ionisation, les conditions d'ionisation déterminent la nature et les quantités des produits induits par ces réactions chimiques. De même, l'état physique des

aliments traités (états congelé, frais, solide, liquide, en poudre) conditionne l'étendue des réactions chimiques induites par l'ionisation ainsi que la nature des produits formés.

La formation des radicaux libres dans les aliments a été impliquée dans la dégradation des composants des aliments (Choe E *et al* ; 2005). Généralement, les réactions chimiques induites aboutissent à des cassures, des oxydations, des agrégations ou des hydrolyses des composants des aliments et à la génération des produits chimiques plus connus comme « produits de radiolyse ».

- A faibles doses, jusqu'à 1 kGy, la perte est négligeable ;
- Aux doses moyennes, de 1-10 kGy, on peut observer une certaine perte de vitamines dans les denrées alimentaires exposées à l'air au cours de l'irradiation ou de l'entreposage ;
- Aux fortes doses, de 10 à 50 kGy, la perte de vitamines peut être atténuée moyennant certaines précautions, par exemple l'irradiation à basse température et l'élimination de l'air pendant le traitement et l'entreposage (OMS ; 1989).

## **5. 1. Effet d'irradiation sur la valeur nutritionnelle**

### **5. 1. 1. Protéines**

La rupture des liaisons peptidiques ou des liaisons adjacentes et l'agrégation des polypeptides peut avoir lieu après un traitement par ionisation (Audette-Stuart M *et al* ; 2005). Ces modifications peuvent s'accompagner de la dénaturation des protéines (modification des structures secondaire et tertiaire) et de la formation des peptides (SCF ; 2003),(Choe E *et al* ; 2005). Lorsque les protéines sont en phase solide ou en solution gelée (aliments surgelés), les modifications des acides aminés eux-mêmes sont peu importantes. Des modifications protéiniques apparaissent également à la suite d'un traitement par la chaleur et elles ne sont donc pas spécifiques du traitement par ionisation (DHHS ; 2005).

*Remarque* : D'après des analyses chimiques et des études sur l'animal, par incorporation d'aliments irradiés à leur nourriture, la valeur nutritionnelle des protéines n'est guère modifiée par l'irradiation, même à fortes doses. L'expérimentation animale conduite sur diverses espèces a également démontré que les effets des rayonnements sont minimales sur les autres nutriments.

### **5. 1. 2. Carbohydrates**

La rupture des liaisons glucidiques aboutissant à la libération des monosaccharides constituants des polysaccharides peut avoir lieu après un traitement par ionisation. Le traitement par ionisation des aliments contenant de l'amidon, par exemple, peut induire la

libération de dextrines, maltose, glucose et autres monosaccharides constituant de l'amidon (WHO ; 1999). Cependant, ces modifications paraissent également à la suite d'une cuisson des aliments et ne sont donc pas spécifiques du traitement par ionisation.

### 5. 1. 3. Lipides

Le mécanisme principal de dégradation des lipides est la peroxydation radio-induite, qui ne se différencie pas de celle induite par d'autres causes. Une variété de ces produits (aldéhydes, esters, cétones, etc.) a été recensée après un traitement par ionisation. Leur concentration peut diminuer lors du stockage (Houser TA *et al* ;2005) ; (SCF ; 2003). Revision Le profil lipidique des aliments ne semble pas être modifié après traitement par ionisation bien que des variations dans les contenus en phospholipides, cholestérol et acides gras libres aient été rapportées (Kanatt SR *et al* ; 2006). Ces modifications apparaissent également à la suite de l'application d'autres traitements technologiques sur les aliments comme la chaleur (DHHS ; 2005), et des procédés technologiques à effet oxydant et ne sont donc pas spécifiques du traitement par ionisation.

Toutefois, la rupture des liaisons hydrocarbonées (notamment insaturées) aboutit à la production de produits de radiolyse plus spécifiques. La production dans certains aliments d'alkylcyclobutanones (ACBs) à partir de l'acide palmitique (C<sub>16</sub>H<sub>32</sub>O<sub>2</sub>) semble être spécifique d'un traitement par ionisation (EFSA ;2005), (Horvatovich P *et al* ;2005),(Gadgil P *et al* ; 2005). Des niveaux de formation de 2-dodecylcyclobutanone (2-DCB) allant de 0,04 à 0,6 µg par gramme de lipides par kGy (µg/g lipide/kGy) ont été rapportés, respectivement, dans la viande de poulet et de bœuf traité (Sin DW-M *et al* ; 2006). Ces dérivés semblent être stables dans les aliments jusqu'à une température de 100 °C mais sont détruits à partir de 200 °C (Obana H *et al* ; 2006).

### 5. 1. 4. Vitamines

Certaines vitamines hydrosolubles et liposolubles peuvent être détruites par un traitement d'ionisation. La thiamine, la vitamine E, la vitamine A et dans une moindre mesure la vitamine K semblent être les plus radio-sensibles (SCF ; 2003). Ces vitamines peuvent également être détruites à la suite des traitements enzymatiques et chimiques (Choe E *et al* ; 2005), ainsi que lors des traitements technologiques communs comme la cuisson et le séchage (WHO ; 1994), et ces effets ne sont donc pas spécifiques du traitement par ionisation.

La perte de vitamines associée aux fortes doses d'irradiation est ramenée à un niveau comparable à la perte observée aux doses moyennes en l'absence de mesures de protection.



Certaines vitamines, la riboflavine, la niacine et la vitamine D sont relativement peu sensibles à l'irradiation. On connaît mal l'effet de l'irradiation sur l'acide folique et les observations sont contradictoires en ce qui concerne l'effet sur la vitamine C contenue dans les fruits et les légumes (OMS ; 1989).

Il est clair que cette perte de vitamines associée à l'irradiation doit être appréciée au regard de l'importance de l'aliment considéré comme source de vitamines pour le consommateur. Par exemple, si une denrée constitue l'unique source alimentaire de vitamine A pour une population donnée, le traitement de ce produit particulier par irradiation peut être à déconseiller car il en résulterait une baisse importante de l'apport de ce nutriment essentiel. De plus, comme de nombreux aliments irradiés sont cuits avant utilisation, il faut tenir compte de la perte cumulée de vitamines résultant à la fois du traitement et de la cuisson (OMS ;1989).

#### **5. 1. 5. Le furane**

Le furane peut être produit lors de l'ionisation des certains aliments (DHHS ; 2005) , (Fan X ; 2005). Cette formation semble être restreinte aux aliments liquides car les aliments solides ionisés présentent des taux de furane plus faibles ou inexistantes (Fan X *et al* ; 2006). Du furane a été trouvé naturellement dans certains aliments (6-8 ng/g) (Fan X *et al* ; 2006) , et des procédés technologiques classiques, comme le traitement du jus d'orange dans un bain marie pendant 5 min, forment également du furane (Fan X ; 2005). La formation de furane n'est donc pas spécifique du traitement par ionisation des aliments.

#### **5. 1. 6. Autres composants**

Les concentrations de certains composés comme la naringine, la narirutine, le d-limonène et le myrcène dans des fruits diminuent après une traitement par ionisation et stockage (Vanamata J *et al* ; 2005). D'autres composés comme le lycopène et le carotène ne sont pas affectés par ce même traitement.

### **5. 2. Effets d'irradiation sur les caractères organoleptiques**

Les transformations chimiques produites par l'irradiation des aliments peuvent avoir un effet sensible sur leur saveur. L'importance de cet effet dépend principalement de la nature de l'aliment traité, de la dose de rayonnement et de divers autres facteurs, tels que la température pendant le processus d'irradiation.

Certains aliments s'altèrent même avec une faible dose d'irradiation. Le lait et certains autres produits laitiers comptent parmi les aliments les plus sensibles aux rayonnements. Des doses ne dépassant pas 0,1 kGy donnent au lait une saveur anormale, jugée rebutante par la plupart des consommateurs.

Les doses de rayonnement élevées nécessaires pour la stérilisation entraînent un changement de saveur désagréable dans la viande, apparemment davantage dans les parties maigres que dans les parties grasses. De plus, le fait est moins notable dans la viande de porc que dans celle de bœuf ou de veau, sans doute parce qu'il s'agit d'une viande plus grasse. Ce goût particulier est plus prononcé immédiatement après irradiation : il s'atténue ou disparaît pendant l'entreposage et la cuisson.

De plus, les chercheurs ont constaté que la viande irradiée à basse température a moins tendance à prendre un goût. C'est ainsi, que dans une étude, des groupes d'experts en alimentation et des groupes de consommateurs ont jugé acceptable la saveur de morceaux de boeuf, poulet ou porc ayant subi une inactivation enzymatique et emballés sous vide et de divers produits carnés irradiés à la dose d'environ 50 kGy à la température de -30° C en vue d'obtenir une longue durée de conservation. La couleur est une autre caractéristique de la viande qui peut être modifiée par l'irradiation. Les doses supérieures à 1,5 kGy peuvent donner une couleur parasite brune à la viande exposée à l'air.

En pratique, la dose supérieure limite pour l'irradiation des fruits et des légumes est imposée par l'influence de ce traitement sur la fermeté du tissu végétal. Des doses de 1 à 3 kGy provoquent en effet le ramollissement de certains fruits. Cet effet n'est pas vraiment une conséquence directe de l'irradiation, mais une réaction physiologique, à savoir l'éclatement des membranes cellulaires sous l'action d'enzymes.

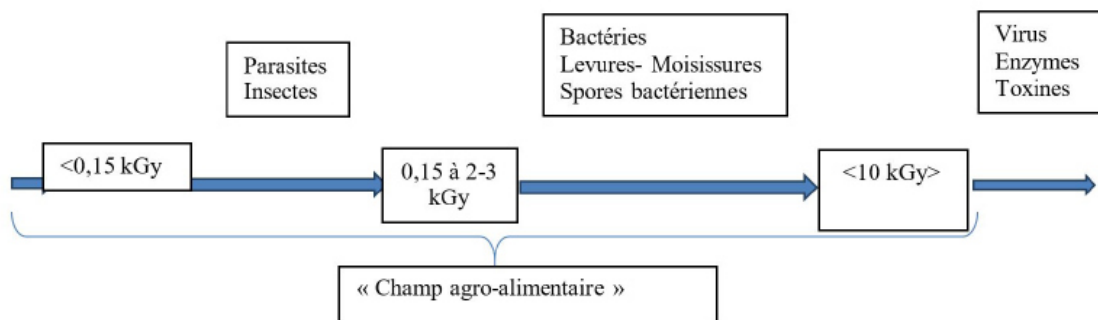
Ce ramollissement n'est pas immédiatement perceptible car il n'apparaît que quelques heures ou même quelques jours après l'irradiation.

Comme autres modifications des caractères organoleptiques provoquées par l'irradiation, on peut citer l'allongement (diminution de la viscosité) des soupes et des jus de viande dont les féculents constitutifs, par exemple des pommes de terre ou des céréales, ont été irradiés. L'effet ne s'observe pas aux doses relativement faibles nécessaires pour empêcher la germination ou assurer la désinsectisation, mais il peut se produire aux doses plus élevées, supérieures à 1 kGy. Dans certains cas, cette conséquence de l'irradiation est opportune. Elle

explique la diminution de la durée de cuisson nécessaire pour les potages desséchés ainsi que les meilleures caractéristiques de réhydratation des fruits secs (OMS ; 1989).

### 5. 3. Effet d'irradiation sur les microorganismes

Il est admis depuis longtemps que le mode d'action des rayonnements ionisants consiste en une dénaturation plus ou moins prononcée du matériel cellulaire. Il est tout aussi consensuel d'affirmer que le matériel nucléaire (ADN, ARN) reste la cible privilégiée, même s'il n'est pas irraisonnable de dire que le mode d'action puisse être multi-cibles.



**Fig. 3 :** Positionnement des principales cibles des traitements sur une gamme de doses de rayonnements ionisants.

#### 5. 3. 1. Effets sur les bactéries

Il y a une grande diversité de comportement des bactéries aux rayonnements ionisants. De plus, les valeurs de réduction décimale (DRD) obtenues de la littérature doivent être utilisées avec précaution même si elles apportent de précieuses informations sur la sensibilité attendue de l'ionisation du ou des microorganismes concernés par l'application recherchée (tableaux 2 et 3). En marge de ces données, il convient de noter que les toxines bactériennes sont très radio-résistantes, la toxine botulique présente des valeurs DRD (également appelée D10) comprises entre 17 et 60 kGy et la toxine staphylococcique entre 27 et 95 kGy. Il est donc évident que lorsque la toxine est déjà présente dans l'aliment, des traitements ionisants usuels ne permettront pas son élimination.

**Tableau 2 :** valeurs DRD (en kGy) des principaux dangers bactériens à transmission alimentaire d'après ( Desmonts M.H *et al* ;2001), (Jo C *et al* ; 2005), (Niemira B.A *et al* ; 2003).

Bactérie	Valeur DRD	Milieu d'ionisation	Température
<i>Aeromonas hydrophila</i>	0,14-0,19	bœuf haché	+2°C
<i>Bacillus cereus</i> (spores)	3,2	bouillon nutritif	ambiante
<i>Bacillus cereus</i> (spores)	2	eau	ambiante
<i>Brucella abortus</i>	0,34	bœuf haché	ambiante
<i>Campylobacter jejuni</i>	0,16	bœuf haché	+0-5°C
<i>Clostridium botulinum</i> type A (spores)	3,3	tampon phosphate	ambiante
<i>Clostridium botulinum</i> type B (spores)	3,3	tampon phosphate	ambiante
<i>Clostridium botulinum</i> type E (spores)	1,4	bœuf irlandais	ambiante
<i>Clostridium perfringens</i> type C (spores)	2,1	eau	ambiante
<i>Cronobacter sakazakii</i>	1,71	Poudre de lait	Ambiante
<i>Cronobacter sakazakii</i>	0,76	Poudre de lait	Ambiante
<i>Cronobacter sakazakii</i>	4,83	Aliment de sevrage déshydraté	Ambiante
<i>Escherichia coli</i> O157:H7	0,27	poulet	+5°C
<i>Listeria monocytogenes</i>	0,42-0,49	poulet	+10°C
<i>Listeria monocytogenes</i>	0,21	Endive	+2°C
<i>Listeria monocytogenes</i>	0,5	Brocoli	-5°C
<i>Listeria monocytogenes</i>	0,76	Brocoli	-20°C
<i>Salmonella Enteritidis</i>	0,33	œuf entier	+15°C
<i>Salmonella Newport</i>	0,32	œuf entier liquide	+0°C
<i>Salmonella Panama</i>	0,46	viande de poulet	+22°C
<i>Salmonella Paratyphi B</i>	0,3	viande de crabe	-
<i>Salmonella</i> <i>Typhimurium</i>	0,4-0,48	viande de poulet	+22°C
<i>Salmonella</i> <i>Typhimurium</i>	0,5-0,55	œuf entier	+0°C
<i>S. Typhimurium</i>	0,45	Jambon	+10°C
<i>Shigella dysenteriae</i>	0,22	crevette	-18°C
<i>Shigella flexneri</i>	0,41	crevette	-18°C
<i>Staphylococcus aureus</i>	0,58	Bœuf haché	Ambiante
<i>Staphylococcus aureus</i>	0,39	Jambon	+10°C
<i>Vibrio</i> <i>parahaemolyticus</i>	0,03-0,06	poisson	Ambiante
<i>Yersinia enterocolitica</i>	0,1-0,21	Bœuf haché	ambiante

**Tableau 3** : valeurs DRD d'agents bactériens d'altérations alimentaires d'après **(Desmonts M.H et al ;2001)**.

<b>Bactérie</b>	<b>Valeur DRD (kGy)</b>	<b>Milieu d'ionisation</b>	<b>Température</b>
<i>Bacillus pumilus</i> (spores)	1,35	bouillon nutritif	Ambiante
<i>Bacillus pumilus</i> (spores)	3	sec	Ambiante
<i>Bacillus subtilis</i> (spores)	0,64	solution saline	Ambiante
<i>Bacillus stearothermophilus</i> (spores)	1	tampon phosphate	Ambiante
<i>Lactobacillus spp.</i>	0,3-0,88	boeuf haché	Ambiante
<i>Lactobacillus spp.</i>	0,55-0,81	bouillon nutritif	Ambiante
<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	0,12-0,14	eau sur papier filtre	Ambiante
<i>Moraxella sp.</i>	4,7	bouillon nutritif	Ambiante
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	0,12	boeuf haché	Ambiante
<i>Pseudomonas putida</i>	0,08	poulet	+10°C
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0,07	bouillon nutritif	-
<i>Proteus vulgaris</i>	0,2	huître	+5°C

### 5. 3. 2. Effets sur les levures et moisissures

Les levures et moisissures sont fréquemment présentes dans les aliments et leur développement sera le plus souvent à l'origine de diverses altérations des aliments (modifications de la texture, de la couleur, de la flaveur, de l'aspect...).

Cependant, certaines moisissures telles qu'*Aspergillus flavus* et *Penicillium viridicatum* sont susceptibles de produire des toxines (ici aflatoxines) dangereuses pour l'homme.

La sensibilité aux rayonnements ionisants des levures et moisissures est en général du même ordre que celle des bactéries non sporulantes. La difficulté, réelle, à dénombrer de manière fiable les levures et moisissures a conduit certains auteurs à définir un concept différent de la valeur DRD : il s'agit de la dose de rayonnements pouvant empêcher la croissance d'une population initiale connue (tableau 4 et 5). Néanmoins, on trouve également dans la littérature certaines valeurs DRD **(Desmonts M.H et al ;2001)**.

Il est admis que les levures sont plus résistantes aux rayonnements ionisants que les moisissures. Ces micro-organismes se comportent généralement comme les bactéries non sporulantes. Les traitements par rayonnements ionisants sont donc un moyen de maîtrise de

ces agents pour lesquels il faudra éviter impérativement la production de mycotoxines généralement très radio-résistantes (DRD de plusieurs dizaines de kGy) (Calado T *et al* ;2014). En pratique, pour les produits qui s’y prêtent comme les fruits par exemple, un traitement dans de l’eau chaude (50°C) est effectué juste avant l’application des rayonnements ionisants.

**Tableau 4** : valeurs DRD (en kGy) et dose d’ionisation pouvant prévenir la croissance (en kGy) de diverses levures d’après (Desmonts M.H *et al* ;2001).

Levures	Valeur DRD	Milieu d’ionisation	Dose	Milieu d’ionisation
<i>Candida spp</i>	1,25	bouillon	-	-
<i>Candida krusei</i>	-	-	5,5	Tampon
<i>Candida tropicales</i>	-	-	10	Tampon
<i>Candida zelyanoides</i>	0,7	Peau de poulet	-	-
<i>Cryptococcus albidus</i>	-	-	10	Jus de raisin
<i>Debaryomyces klöckeri</i>	-	-	7,5	Jus de raisin
<i>Rhodotorula glutinis</i>	-	-	10	Jus de raisin

**Tableau 5**: valeurs DRD (en kGy) et dose d’ionisation pouvant prévenir la croissance (en kGy) de diverses moisissures d’après (Calado T *et al* ;2014), (Desmonts M.H *et al* ;2001).

Moisissures	Valeur DRD	Milieu d’ionisation	Dose	Milieu d’ionisation
<i>Alternaria spp</i>	-	-	6	Gélose
<i>Alternaria citri</i>	1,2	citron	-	-
<i>Aspergillus flavus</i> (spores)	0,4	eau	1,7	bouillon nutritif
<i>Aspergillus flavus</i>	-	-	5	Cacahouète
<i>Aspergillus flavus</i>	-	-	6	Graine de sésame
<i>Aspergillus candidus</i>	0,3	milieu nutritif	-	-
<i>Aspergillus niger</i>	0,45	eau	2,5	Gélose
<i>Botrytis cinerea</i>	0,6	prune	5	Gélose
<i>Cladosporium herbarum</i>	1	prune	6	gélose
<i>Geotrichum candidum</i>	0,4	citron	-	-
<i>Penicillium camembertii</i>	0,2	eau	-	-
<i>Penicillium expansum</i>	0,4	prune	-	-
<i>Penicillium roquefortii</i>	0,4	Milieu nutritif	-	-
<i>Penicillium viridicatum</i>	-	-	1,4	Gélose
<i>Rhizopus nigricans</i>	0,7	prune	2,5	gélose

### 5. 3. 3. Effets sur les virus (et prions)

Globalement peu d'études ont été consacrées à l'inactivation par rayonnements ionisants de virus dans des aliments susceptibles de les transmettre. Il y a d'abord une difficulté technique à la réalisation de ces études mais, surtout, il est apparu très tôt que les virus devaient être considérés comme plutôt résistants au traitement. Leur élimination par la seule action de l'énergie du rayonnement n'est possible qu'à des doses qui sont généralement hors du champ dit « agro-alimentaire » (voir figure 2). Dans le cas de traitements dans le « champ agro-alimentaire » (0,1 à 10 kGy, grossièrement), et si l'objectif est l'élimination des virus, il faudra combiner avec un traitement thermique, beaucoup plus virucide que les rayonnements ionisants.

Suite à la découverte des prions, les équipes travaillant sur le sujet se sont penchés sur tous les moyens d'inactivation de ces agents transmissibles non conventionnels. A ce titre, les rayonnements ionisants faisaient partie de l'arsenal. Les auteurs ont développé le concept du D37 qui correspond à la dose nécessaire pour diminuer l'infectiosité de 37%. Sans véritable surprise, et malgré la difficulté technique de réalisation de ces travaux, les études ont montré une très forte radio-résistance de ces agents. Par exemple, 50 kGy étant nécessaire pour un abattement estimé de 1,5 Log de l'agent de la tremblante du mouton ( **Miekka S.I et al ;2003**).

### 5.3.4. Effets sur les parasites

Les parasites sont des dangers biologiques que l'on retrouve essentiellement, mais pas uniquement, dans les denrées alimentaires d'origine animale ou l'eau. Ils seraient à l'origine de plus de 100 000 cas de Maladies Infectieuses d'Origine Alimentaire (MIOA) par an en France ( **Anonyme ; 2004**). Ainsi, par exemple parmi les protozoaires, *Toxoplasma gondii* peut parasiter les viandes et indirectement l'eau et les légumes crus (contamination fécale).

Il est surtout dangereux pour les nouveau-nés contaminés par leur mère durant la grossesse, entraînant décès, déficience mentale ou troubles oculaires. *Entamoeba histolytica* peut causer des dysenteries chez l'homme à travers la consommation d'eau, de fruits et légumes crus contaminés fécalement. Pour ces 2 types de protozoaires, une dose de 250 Gy est considérée comme suffisante pour les éliminer de l'aliment. Des doses plus faibles peuvent ne pas être suffisantes pour l'inactivation des parasites. De fait, Pohle et al. (2011) ne parviennent pas à inactiver des métacestodes de *Echinococcus multilocularis* après application de doses très faibles entre 50 et 100 Gy ( **Pohle S et al ; 2011**).

### 5. 3. 5. Effets sur les insectes ravageurs

Les doses d'ionisation requises pour tuer un insecte dépendent de son âge pour chaque stade de développement. Ainsi, la sensibilité aux rayonnements ionisants varie énormément aux différents stades métamorphiques de l'œuf, la larve, la pupa ou l'adulte : là encore, de même que pour la cellule, cette sensibilité augmente avec l'activité reproductrice et diminue avec le degré de différenciation.

Par exemple, la sensibilité des œufs du ver jaune du blé *Tenebrio molitor* est 250 fois plus grande à 0,5 jour qu'à un âge de 7,5 jours. Le plus souvent, en pratique, il n'est pas nécessaire d'atteindre 100 % de létalité (**Desmots M.H ; 2001**). Il peut être suffisant de prévenir la transformation des œufs et larves en adultes ou encore de stériliser les populations de pupes ou adultes présentes.

Notons que la possibilité de stériliser les insectes peut être de grande importance, dans les traitements de quarantaine ou encore dans la lutte biologique, par le lâcher dans la nature d'insectes mâles stérilisés. En général, les femelles sont plus radiosensibles que les mâles. Les mites (Lépidoptères) sont plus résistantes que les acariens, eux-mêmes plus résistantes que les mouches (Coléoptères). Une dose de 250 Gy (0,25 kGy) a été suggérée comme traitement de quarantaine efficace contre les mouches du fruit. Il préviendrait l'émergence d'adultes viables à partir des œufs et larves (**Hallman G.J ; 2013**).



## Chapitre II : Les vitamines

### 1. Définitions

Les vitamines sont des substances organiques indispensables à l'organisme, sans valeur énergétique propre. L'homme ne pouvant les synthétiser en quantité suffisante, elles doivent être fournies par l'alimentation. Elles sont un groupe de substances chimiques très hétérogènes.

Le terme « vitamine » vient du latin « vita » qui signifie vie, et du suffixe « amine » ; les chimistes croyant pouvoir classer ce type de substance parmi les amines, ce qui s'avéra faux par la suite (Al-Drouby HAL ; 1983).

Treize substances répondent à cette définition :

- Vitamine A ou rétinol
- Vitamine D ou calciférol
- Vitamine E ou tocophérol
- Vitamine K ou phyto-ménadione
- Vitamine C ou acide ascorbique
- Vitamine B1 ou thiamine
- Vitamine B2 ou riboflavine
- Vitamine B3 ou PP ou niacine
- Vitamine B5 ou acide pantothénique
- Vitamine B6 ou pyridoxine
- Vitamine B8 ou biotine
- Vitamine B9 ou acide folique
- Vitamine B12 ou cobalamine

### 2. Classification

Les vitamines sont classées en deux groupes selon leur solubilité. On oppose les vitamines liposolubles (A, D, E et K) et les vitamines hydrosolubles (B1, B2, B3, B5, B6, B8 B9, B12 et C). Cette différence de solubilité a des conséquences sur le métabolisme des vitamines, en particulier sur leur absorption et leur stockage (Médart J ;2009).

### 3. Sources

Certaines vitamines peuvent être synthétisées par l'homme, c'est le cas des vitamines D, K et B3. Cependant, dans la majorité des cas, l'apport alimentaire est indispensable pour fournir des quantités suffisantes à l'organisme (Le Moël G *et al* ; 1998).

La classification et les sources de chaque vitamine sont détaillées précisément dans le tableau suivant.

**Tableau 6 :** La classification et les sources de chaque vitamine (**Le Moël G et al ; 1998**).

<b>Vitamines liposolubles</b>	<b>Source</b>
<b>A</b>	Foie de poisson et foie de boucherie, jaune d'œuf, matière grasse du lait. Les légumes, en particulier carottes et épinards et certains fruits (abricots, melons) contiennent des quantités importantes de carotène à partir duquel l'organisme synthétise la vit A.
<b>D</b>	Foie, poisson, gras, jaune d'oeuf, viande, huiles végétales.
<b>E</b>	Huiles végétales, foie, germes de céréales, légumes verts, oeufs, lait, beurre.
<b>K</b>	Légumes verts (épinards, choux), pommes de terre, foie, fruits, viande, poisson.
<b>C</b>	Tous les fruits (particulièrement les agrumes) , légumes, salades, foie.
<b>Vitamines hydrosolubles</b>	<b>Source</b>
<b>B1</b>	Foie, lait, œuf, levure, germes de céréales, légumes, fruits, viandes, poissons.
<b>B2</b>	Foie, lait, œuf, levure, germes de céréales, légumes, fruits, viandes, poissons.
<b>B3</b>	Foie, viandes, rognons, fruits, poissons, céréales, légumes, levures de bière.
<b>B5</b>	Foie, rognons, viandes, jaune d'œuf, levure, légumes (pomme de terre, choux), fruits.
<b>B6</b>	Foie, viandes, rognons, fruits, poissons, céréales, légumes verts, levures.
<b>B8</b>	Légumes, céréales, oléagineux, (noix, cacahuètes), chocolat, jaune d'œuf, lait.
<b>B9</b>	Foie, germes de céréales.
<b>B12</b>	Foie, rognons, viandes, poissons, produits laitiers, jaune d'œufs, coquillages (huîtres, palourdes).

#### **4. Les besoins nutritionnels et les apports nutritionnels conseillés**

Il est important de distinguer les deux concepts de besoin nutritionnel et d'apport conseillé. Si le premier concerne un individu, le second, lui, fait référence à une population.

##### **4.1. Les besoins nutritionnels**

Les besoins en un nutriment donné sont définis comme la quantité de ce nutriment nécessaire pour assurer l'entretien, le fonctionnement métabolique et physiologique d'un individu en bonne santé. Ces besoins comprennent ceux liés à l'activité physique, à la thermorégulation et les besoins supplémentaires nécessaires pendant certaines périodes de la vie telles.

##### **4.2. Les apports nutritionnels conseillés**

Les apports nutritionnels conseillés (ANC) sont égaux au besoin nutritionnel moyen, mesuré sur un groupe d'individus, auquel sont ajoutés deux écarts types représentant le plus souvent chacun 15% de la moyenne. Cette marge de sécurité statistique permet de prendre en compte la variabilité interindividuelle et de couvrir les besoins de la plus grande partie de la population, soit 97,5% des individus (**Martin A ; 2001**).

#### **5. Métabolisme**

Les vitamines sont pour la plupart apportées par l'alimentation ou sous forme médicamenteuse. Elles sont ensuite absorbées, éventuellement prises en charge par un transporteur spécifique et stockées. Elles doivent par la suite être transformées en métabolites actifs pour rejoindre les tissus où elles jouent leurs rôles. Enfin, elles sont éliminées dans l'urine ou les fèces.

##### **➤ Absorption et biodisponibilité**

Les vitamines apportées par l'alimentation sont libérées de la matrice alimentaire dans l'estomac, puis absorbées dans le duodénum, le jéjunum ou l'iléon. Il existe plusieurs modes d'absorption :

- Concernant les vitamines liposolubles, leur absorption dépend de la présence de sels biliaires et des sécrétions pancréatiques qui permettent de former des micelles ;

- L'absorption intestinale des vitamines hydrosolubles dépend quant à elle de transporteurs spécifiques. De ce fait, en cas d'ingestion de doses très supérieures aux apports conseillés, les vitamines hydrosolubles ne sont plus assimilées par l'organisme car les transporteurs sont saturés.

### ➤ **Distribution et activation**

Une fois absorbées, les vitamines circulent dans le sang sous différentes formes. Celles-ci, à l'exception des vitamines C et E, doivent subir une transformation biochimique pour être actives. Cette activation se déroule principalement dans le foie, ou dans le foie et le rein pour la vitamine D (**Guilland J-C ; 1992**).

### ➤ **Catabolisme et élimination**

Les vitamines sont catabolisées, puis éliminées, soit par voie urinaire pour la majorité des vitamines hydrosolubles et la vitamine A, soit par voie fécale pour les vitamines liposolubles, B9 et B12. Cependant, selon leur solubilité, les vitamines apportées en excès par l'alimentation pourront ou non être stockées dans l'organisme. Schématiquement, les vitamines hydrosolubles, en particulier la vitamine C et la thiamine, ne peuvent pas être stockées : un apport régulier est nécessaire pour éviter une carence. A l'inverse, la majorité des vitamines liposolubles peuvent être stockées de manière importante, principalement dans le foie, le tissu adipeux et le muscle.

## **6. Fonctions physiologiques principales**

Les différents rôles joués par les vitamines au sein de l'organisme sont variés. Les vitamines peuvent avoir une fonction co-enzymatique, c'est-à-dire que ce sont des molécules organiques essentielles pour que certaines enzymes puissent catalyser leurs réactions. Elles peuvent jouer un rôle dans des réactions d'hydroxylation ou d'oxydoréduction.

Elles présentent également une action anti-oxydante ou même une fonction de type hormonale (**Le Moël G *et al* ; 1998**). Les fonctions de chaque vitamine sont détaillées précisément dans le tableau suivant.

**Tableau 7:** Principales fonctions physiologiques des vitamines

Les vitamines	Fonctions physiologiques principales
Vitamine A	<p>Vision nocturne</p> <p>Action sur la transcription génomique : module prolifération, différenciation, fonctionnalité</p> <p>Maintien de l'intégrité épithéliale : synthèse de mucopolysaccharides sécrétion de mucus</p> <p>Immunité cellulaire et tumorale : prolifération lymphocytes + synthèse immunoglobulines</p>
Vitamine D	<p>Homéostasie phosphocalcique</p> <p>Stimulation de l'ostéoclasie osseuse, minéralisation de l'os</p> <p>Action sur les glandes parathyroïdes : inhibe la synthèse de PTH</p> <p>Contrôle de la transcription génique</p>
Vitamine E	<p>Rôle antioxydant majeur : stoppe la phase de propagation de peroxydation radicalaire</p>
Vitamine K	<p>Cofacteur de la gamma-glutamyl-carboxylase : action au niveau de la coagulation sanguine et de la minéralisation osseuse</p>
<p>Vitamine B1</p> <p>Vitamine B2</p> <p>Vitamine B3</p> <p>Vitamine B5</p> <p>Vitamine B6</p> <p>Vitamine B8</p> <p>Vitamine B9</p> <p>Vitamine B12</p>	<p>Cofacteurs de nombreuses enzymes jouant un rôle important dans le métabolisme et la transcription génique</p>
Vitamine C	<p>Rôle antioxydant</p> <p>Participe à la synthèse de collagène et de noradrénaline, et rôle dans le métabolisme du fer et des h. surrénaliennes</p> <p>Fixation du calcium au niveau de l'os et formation des dents</p> <p>Effet hémostatique</p> <p>Augmentation de l'immunité</p>

## 7. Physiopathologie : constitution d'une carence

### 7. 1. Mécanisme

Une carence se constitue de la manière suivante :

- En premier lieu, il y a un épuisement progressif des réserves. Selon la vitamine concernée, l'importance des réserves corporelles peut être très variable. Les possibilités de stockage sont importantes dans le foie pour les vitamines A, D et B12 ; également dans le tissu adipeux pour les vitamines D et E. Il faudra donc une carence d'apport de plusieurs années pour épuiser les réserves. A l'inverse, la majorité des vitamines hydrosolubles ne peuvent être stockées. Une carence d'apport de seulement quelques semaines, notamment pour la vitamine C et la vitamine B1 sera suffisante pour épuiser les réserves ;
- Les désordres biologiques peuvent apparaître lors de la diminution des réserves, entraînant une modification du fonctionnement des cellules. Cette phase infra clinique pourra avoir une durée variable, largement dépendante des possibilités de stockage par rapport aux besoins quotidiens. Grâce à un diagnostic biologique (bilan sanguin), un déficit vitaminique peut être mis en évidence, et l'état de carence évité grâce à une prise en charge précoce ;
- Lorsque le déficit vitaminique n'a pas été détecté sur le plan biologique, les manifestations cliniques peuvent alors apparaître. On parle alors de carence. La spécificité de ces manifestations dépend de la vitamine impliquée. Paradoxalement, bien que les vitamines aient un rôle central dans le métabolisme cellulaire, leurs carences peuvent être sans signe de gravité majeur et non pathognomonique (troubles cutanéomuqueux communs aux vitamines du groupe B).

### 7. 2. Étiologies des carences

Plusieurs mécanismes physiopathologiques peuvent être impliqués dans la constitution d'une carence vitaminique (figure 5 en annexe 3) ( **Guilland J-C ; 1992**).

- Le premier est un apport vitaminique insuffisant. On rencontre donc des déficits vitaminiques principalement dans les pays en voie de développement, en lien avec des carences alimentaires. De même, une alimentation fortement déséquilibrée peut entraîner des carences ;
- La seconde cause provient d'une diminution de la capacité d'absorption des vitamines. Elle peut se produire à plusieurs niveaux :

### Au niveau de l'estomac

**La gastrectomie :** c'est une ablation chirurgicale partielle ou totale de l'estomac

### Au niveau intestinal

**La maladie cœliaque ou intolérance au gluten :** l'absorption de gluten crée une réponse immunitaire anormale au niveau de l'intestin grêle entraînant une réaction inflammatoire qui endommage la paroi de l'intestin : les villosités intestinales sont détruites, ce qui empêche l'absorption de certaines vitamines.

**La maladie de Crohn:** c'est une maladie inflammatoire chronique du tube digestif. L'inflammation crée un épaissement de la paroi du tube digestif diminuant la capacité d'absorption.

**La résection intestinale:** le site d'absorption de certaines vitamines peut être partiellement voire totalement inexistant.

**La parasitose digestive:** est présente dans les pays en développement. Elle se caractérise par la présence de diarrhée profuse augmentant la perte des vitamines.

### Au niveau pancréatique

**La mucoviscidose :** les sucs pancréatiques ne sont plus correctement sécrétés, ce qui conduit à une mauvaise absorption des graisses et donc des vitamines liposolubles.

La pancréatite chronique entraîne les mêmes conséquences.

### Au niveau hépatique

**La cholestase ou obstruction des voies biliaires intra ou extra hépatique :**

Elle diminue la disponibilité des sels biliaires nécessaires à l'absorption des vitamines liposolubles.

- En troisième position se placent les autres troubles du métabolisme vitaminique :
  - Les défauts d'activation d'une vitamine : vitamine D chez l'insuffisant rénal ; vitamine A, vitamine K et vitamine du groupe B lors de pathologies du parenchyme hépatique (insuffisance hépatique, cirrhose).
  - Les problèmes de stockage des vitamines lors de pathologies hépatiques.
  - L'augmentation de l'élimination vitaminique par augmentation de l'excrétion urinaire chez l'insuffisant rénal.
  - Les interférences médicamenteuses avec le métabolisme des vitamines.
  - Les maladies héréditaires qui entravent le déroulement correct du métabolisme.
- Enfin, la carence peut survenir lorsque les besoins du corps sont augmentés.

Certains états physiologiques entraînent une augmentation des besoins : lors de la grossesse, de l'allaitement, ou en cas de pratique d'activité physique intense. D'autres états pathologiques, notamment un état infectieux ou les patients sous hémodialyse, augmentent également les besoins.

### **7. 3. Personnes à risque**

Les personnes les plus concernées par les déficits vitaminiques sont celles qui présentent des carences alimentaires ; telle que **(Le Moël G *et al* ; 1998), (Lemoine A *et al* ; 1986) :**

- Les femmes lors de la grossesse et de l'allaitement car les besoins sont largement augmentés;
- Les nouveaux nés prématurés car le niveau des réserves est bas et les besoins sont importants ;
- Les personnes âgées car les fonctions métaboliques permettant la synthèse, l'activation ou l'absorption des vitamines sont diminuées. De plus, les apports sont souvent insuffisants et la fréquente anomalie de la fonction rénale entraîne une augmentation de la clairance. 10% des personnes âgées présentent des tableaux de multi carences en vitamines ;
- Les alcooliques chroniques : ce sont des patients sujets aux carences d'apport vitaminique, auxquelles viennent s'ajouter des atteintes organiques (pancréatique, atteinte hépatique) qui entravent particulièrement l'absorption des vitamines liposolubles. Par ailleurs, l'alcool provoque une altération de la muqueuse intestinale qui diminue également l'absorption des vitamines. Enfin, certaines vitamines peuvent servir au métabolisme de l'éthanol : les besoins sont donc augmentés ;
- Les personnes atteintes d'obésité : la chirurgie bariatrique entraîne des carences. En effet, il y a réduction des apports alimentaires dans la chirurgie de réduction gastrique et diminution de l'absorption intestinale lors de bypass ;
- Les personnes en nutrition parentérale non supplémentée.

### **8. Prévention des carences vitaminiques**

Une alimentation équilibrée et variée suffit dans la majorité des cas à apporter les quantités nécessaires à l'organisme **(Guilland J-C ; 1992)**. En fonction de leurs propriétés physico-chimiques **(Médart J ; 2009)**, certaines vitamines vont être sensibles à l'oxydation ou aux radiations et/ou hydrolysables à la chaleur, en milieu acide ou alcalin. Les vitamines hydrosolubles se perdent dans les eaux de cuisson, particulièrement en cas d'ébullition prolongée. Par ailleurs, les préparations ménagères et industrielles (produits congelés, conserves) entraînent une perte vitaminique moyenne de 40%. Il est donc important de faire



attention au mode de préparation et de cuisson des aliments pour ne pas perdre leur teneur vitaminique. Dans certains cas, des compléments alimentaires ou préparations multi vitaminiques peuvent permettre de compléter l'alimentation. Il faut néanmoins être vigilant lors de leur prescription en raison de risque de toxicité des doses excessives. Citons par exemple le risque de tératogénicité pour la vitamine A, l'hépatotoxicité et la calcification rénale pour la vitamine C, la neuropathie et l'hémochromatose pour les vitamines du groupe B...

### **9. Conservation des vitamines**

La plupart des vitamines sont détruites par la chaleur, l'air et les rayons ultraviolets. Par exemple, la cuisson d'un aliment élimine environ 50 % des vitamines. Des pommes cuites peuvent toutefois contenir paradoxalement davantage de vitamines aux 100 g que des pommes crues, simplement en raison de l'effet d'une dessiccation partielle. Par ailleurs, les vitamines hydrosolubles partent en grande partie dans l'eau de cuisson. Ainsi, une soupe ou un potage, pour lequel on garde l'eau, ou la cuisson à la vapeur, avec laquelle les aliments ne trempent pas dans l'eau, permettent de garder une plus grande quantité de vitamines (**Ferrando *et al* ; 1970**).

### **10. Sensibilités des vitamines**

La plupart des vitamines sont des composés très instables qui sont rapidement décomposés en raison de leur sensibilité à la cuisson, à l'oxydation, aux rayonnements, à l'humidité, à l'activité de l'eau, au pH, aux enzymes cataboliques et aux effets catalytiques des métaux (voir le tableau 8). Afin d'augmenter leur stabilité, des composés dérivés sont généralement utilisés en vue de l'ajout de vitamines dans des aliments pour animaux et denrées alimentaires (**Abraham J ; 1991**).

**Tableau 8 : Sensibilité des vitamines aux agents physico-chimiques (Abraham J ; 1991).**

Vitamine	Lumière	Perte à la cuisson	Acides	Lavage	Oxygène	Humidité
Vitamine A - Rétinol	++	+ 20-40 %	++	+	++	
Provitamine A Carotène	++		+	+	++	
Vitamine D2/3 Calciférol	++	+ jusqu'à 40 %	+	+	+	
Vitamine E Tocophérol	+	+ 10-55 %			+	
Vitamine K1/3 Ménadione	++	jusqu'à 5 % +	++1	++1		
Vitamine C Acide ascorbique		+ 30-100 %		+	++	+
Vitamine B1 Thiamine	+	++ 30-80 %		+	+	+
Vitamine B2 Riboflavine	++	+ 20-75 %		++		
Vitamine B6 Pyridoxine	+	+ 20-40 %	+			
Vitamine B12	+	+ jusqu'à 10 %	+	+		+
Vitamine PP Nicotinacide		jusqu'à 20 %	++1	++1		
Vitamine B5 Pantothène		+ 30-50 %	++	++		+
Vitamine BC	++	+ 35-100 %	+	+	++	+
Vitamine H Biotine	+	+ jusqu'à 60 %	+	+		
Vitamine P Rutine	+	+				+

**Légende :**

++ Très sensible

+ sensible sans indication = peu ou pas sensible

++1 se transforme en acide nitrique

## **Chapitre III : Effets de l'irradiation sur la teneur en vitamines alimentaires**

### **Introduction**

Les consommateurs s'attendent à ce que les aliments qu'ils consomment soient sûrs. En outre, les consommateurs veulent également que les aliments aient une valeur nutritionnelle élevée avec un temps de préparation minimal, comme le montre la croissance de produits tels que des produits frais prêts à consommer et peu transformés. Afin de répondre à ces exigences, les denrées alimentaires, les rayons gamma, les faisceaux d'électrons et les rayons X sont utilisés pour l'irradiation des aliments. Traité correctement, irradié les aliments conservent leur apparence, leur saveur et leur valeur nutritionnelle, tandis que la plupart des aliments peuvent être préemballés avant l'irradiation, ce qui réduit le risque de re-contamination.

Le temps d'exposition dépend des caractéristiques des aliments et des doses d'irradiation. La dose d'irradiation est mesurée en gray (Gy). C'est une mesure de la quantité d'énergie transférée à la nourriture, aux microbes ou à d'autres substances irradiées. Cette technique est couramment utilisée pour irradier les fruits frais et les légumes (fraise, mangue, goyave, tomate, pomme de terre, ail, etc.), les céréales et les produits céréaliers (blé, riz, orge, farine, etc.)

Sur la base de la dose de rayonnement, les demandes d'irradiation des aliments pourraient être classées en faible dose ( $1 < kGy$ ), moyenne dose (1-10 kGy), et les applications à forte dose (10-45 kGy) comme indiqué dans le tableau 9 (**PM Nair *et al* ; 2016**)

### **1. Effets des radiations ionisantes sur la teneur en vitamines de quelques produits alimentaires**

#### **1.1. Légumineuses**

Parmi les travaux scientifiques qui ont été réalisés sur les effets d'irradiation sur les denrées alimentaires on cite l'étude des effets de l'irradiation gamma et de la période de stockage sur la valeur nutritive et la qualité sensorielle de pois chiches, haricots rouges et lentilles vertes effectuée en 2017 par **Aylangan *et al***. Les objectifs de cette étude étaient de déterminer les effets de l'irradiation gamma et la période du stockage sur la teneur en caroténoïdes totaux et les vitamines thiamine (B1) et riboflavine (B2) dans les légumineuses. En effet, les échantillons de pois chiche, haricot rouge et de lentilles vertes ont été soumis à des doses d'irradiation gamma de 0,25, 0,50 et 1,0 kGy suivi d'un stockage à température ambiante

pendant 12 mois. La teneur totale en caroténoïdes était mesurée par spectrophotomètre. Cependant la concentration en thiamine et en riboflavine par HPLC (Aylangan *et al* ; 2017). Les résultats obtenus révèlent que les trois différentes doses d'irradiation appliquées n'ont pas eu d'effets significatifs sur les teneurs carotènes totaux, en thiamine et en riboflavine (voir tableau 10, 11 et 12)

**Tableau 9** : Applications des rayonnements ionisants dans les aliments d'après (PM Nair *et al* ; 2016)

<i>Food</i>	<i>Dose (kGy)</i>	<i>Purpose</i>
<b>A. Low dose (&lt;1 kGy)</b>		
Potato, onion, yam, garlic, shallot, ginger	0.05–0.15	Inhibition of sprouting
Fruits and vegetables (mango, banana, tomato, mushrooms)	0.2–1	Delay in ripening and maturation
Fruits	0.1–0.7	Disinfestation for quarantine regulations
Cereal grains and grain products, pulses, dried fruits, vegetables, and nuts	0.2–0.7	Disinfestation
Meat	0.3–0.5	Hygienization by destruction of parasites
<b>B. Medium dose (1–10 kGy)</b>		
Fruits, vegetables, sliced bread	1–3	Destruction of bacteria, molds and yeasts and improving shelf life
Meat, poultry, fish	1–5	Improving refrigerated shelf life by reducing microbial load
Meat, poultry, eggs, egg powder, froglegs, frozen sea food, etc.	3–10	Hygienization by destruction of pathogens
Spices, dried vegetables and dry ingredients	3–10	Hygienization and reducing microbial load
<b>C. High dose (10–45 kGy)</b>		
Meat, poultry, seafood	25–45 (minimum dose)	Sterile products for long-term shelf stability at ambient temperature
Sterile hospital diets	25–45 (minimum dose)	For immune compromised patients

**Tableau 10:** Teneur totale en caroténoïdes (mg/100 g) dans les échantillons de pois chiches irradiés et non irradiés, de haricots rouges et de lentilles pendant le stockage. Valeur moyenne et erreur standard (n=3) d'après (Aylangan *et al* ; 2017).

	Dose d'irradiation	0 Mois	6 Mois	12 Mois
Pois chiche	0.00	3.57±0.62	2.69±0.05	3.58±1.20
	0.25	3.33±0.70	3.68±0.37	3.71±1.59
	0.50	3.52±0.89	3.23±0.60	3.12±0.58
	1.00	3.09±1.14	3.87±1.25	3.09±0.32
Haricot rouge	0.00	2.13±0.85	3.28±0.55	2.21±0.65
	0.25	3.31±1.55	2.83±0.44	3.80±0.06
	0.50	3.40±0.06	2.51±1.40	2.91±0.49
	1.00	3.20±0.96	2.69±0.85	3.01±0.40
Lentille	0.00	2.77±0.93	2.53±1.57	3.36±0.37
	0.25	2.27±0.12	2.96±1.34	3.17±0.49
	0.50	3.96±0.04	3.71±1.40	3.97±1.27
	1.00	3.92±0.29	3.55±0.91	3.84±0.35

**Tableau 11 :** Teneur en thiamine (ppm) dans les échantillons de pois chiches irradiés et non irradiés, de haricots rouges et de lentilles pendant le stockage. Valeur moyenne et erreur standard (n=3) d'après (Aylangan *et al* ; 2017).

	Dose d'irradiation	0 Mois	6 Mois	12 Mois
Pois chiche	0.00	0.58±0.01	0.57±0.02	0.31±0.01
	0.25	0.59±0.01	0.56±0.03	0.30±0.01
	0.50	0.58±0.01	0.58±0.00	0.29±0.01
	1.00	0.58±0.03	0.56±0.01	0.37±0.01
Haricot rouge	0.00	0.60±0.11	0.30±0.03	0.33±0.03
	0.25	0.69±0.02	0.25±0.03	0.32±0.03
	0.50	0.67±0.01	0.31±0.01	0.35±0.02
	1.00	0.69±0.02	0.28±0.06	0.37±0.06
Lentille	0.00	0.19±0.02	0.14±0.01	0.12±0.01
	0.25	0.19±0.00	0.17±0.01	0.12±0.01
	0.50	0.20±0.01	0.15±0.02	0.11±0.00
	1.00	0.18±0.01	0.14±0.01	0.11±0.01

En outre, lors de l'évaluation sensorielle, les testeurs n'ont pas été en mesure de différencier les échantillons irradiés avec 0.25, 0.5 et 1 kGy et les témoins (non irradiés).

**Tableau 12 :** Teneur en riboflavine (ppm) dans les échantillons de pois chiches irradiés et non irradiés, de haricots rouges et de lentilles pendant l'entreposage. Valeur moyenne et erreur standard (n=3) d'après (Aylangan *et al* ; 2017).

	Dose d'irradiation	0 Mois	6 Mois	12 Mois
Pois chiche	0.00	0.19±0.00	0.17±0.02	0.18±0.01
	0.25	0.19±0.00	0.15±0.02	0.19±0.00
	0.50	0.19±0.01	0.16±0.03	0.19±0.01
	1.00	0.20±0.00	0.17±0.02	0.18±0.02
Haricot rouge	0.00	0.09±0.02	0.13±0.01	0.12±0.01
	0.25	0.12±0.01	0.12±0.01	0.11±0.01
	0.50	0.13±0.01	0.14±0.01	0.11±0.00
	1.00	0.17±0.00	0.11±0.00	0.13±0.01
Lentille	0.00	0.17±0.01	0.22±0.01	0.23±0.02
	0.25	0.22±0.01	0.22±0.01	0.22±0.01
	0.50	0.21±0.01	0.19±0.05	0.23±0.01
	1.00	0.19±0.01	0.22±0.02	0.23±0.01

Aussi parmi les études qui portent sur les légumineuses, on a celle réalisée par Cople Lima et al qui porte sur le niébé *Vigna unguiculata L. Walp.* Ils ont évalué les effets de l'irradiation gamma sur les teneurs en thiamine pour des doses de 0.0, 0.5, 1.0, 2.5, 5.0 et 10.0 kGy et les

résultats obtenus ne montrent aucune différence significative de contenance en thiamine entre les échantillons irradiés et le témoin (**Keila dos Santos et al ; 2011**).

Cependant, pour les échantillons de niébé irradiés et cuits, ils ont observé une réduction allant jusqu'à 72% des taux de thiamine ce que signifie que la cuisson est un processus destructeur pour cette vitamine (voir tableau 13).

**Tableau 13** : Niveaux moyens de thiamine (mg /100 g) dans le niébé non cuit et cuit après application de différentes doses d'irradiation (kGy) d'après (**Keila dos Santos et al ; 2011**).

Dose (kGy)	Teneur en thiamine (mg/100g)	
0.0	0.41 (0.05)	0.13 (0.02)
0.5	0.39 (0.02)	/
1.0	0.38 (0.02)	0.13 (0.02)
2.5	0.42(0.02)	/
5	0.36 (0.05)	0.12 (0.02)
10	0.44(0.05)	0.12 (0.02)

### 1. 2. Les noix de pécan (*Carya illinoensis*)

Les noix de pécan (*Carya illinoensis*) ont été traitées par irradiation gamma et évaluées pour les changements de vitamine E contenu dans les noix. L'irradiation avec des doses de 1 et 3 kGy n'a entraîné aucun changement de la teneur en vitamine E mesurée en équivalents d'α-tocophérol par une méthode colorimétrique (voir tableau 14). Un panel sensoriel formé a constaté que l'irradiation à 1 kGy n'a produit aucun changement significatif dans les attributs d'aspect, d'arôme, de texture et de saveur (**Magda et al ; 2009**).

**Tableau 14** : Teneur en vitamine E des noix de pécan irradiées d'après (**Magda et al ; 2009**).

	Teneur en Vitamine E (mg/100 g)		
	0 kGy	1 kGy	3 kGy
1st lot	14.66 ±70.32	14.68 ±70.13	15.20 ±70.67
1nd lot	16.46 ±70.20	16.27 ±70.22	16.57 ±70.41
1rd lot	15.32 ±70.29	15.52 ±70.12	15.27 ±70.56

### 1. 3. Le kiwi

Les kiwis sont connus pour leur richesse en vitamine C et en divers autres composants antioxydants. Selon **Kyoung-Heekim et al ; 2009**, la teneur en acide ascorbique des kiwis irradiés à des doses de 1 et 2 kGy n'a pas varié de manière significative par rapport aux témoins. Cependant, la teneur en acide ascorbique des kiwis a diminué à des doses d'irradiation de 3kGy et pendant toute la période de stockage, les kiwis irradiés avaient une teneur en acide ascorbique inférieure à celle du témoin. Par contre, ils ont conclu que les kiwis soumis à une dose de 3kGy ont eu des effets négatifs sur l'activité antioxydante, mais elle a contribué à améliorer la qualité sensorielle (**Kyoung-Heekim et al ; 2009**).

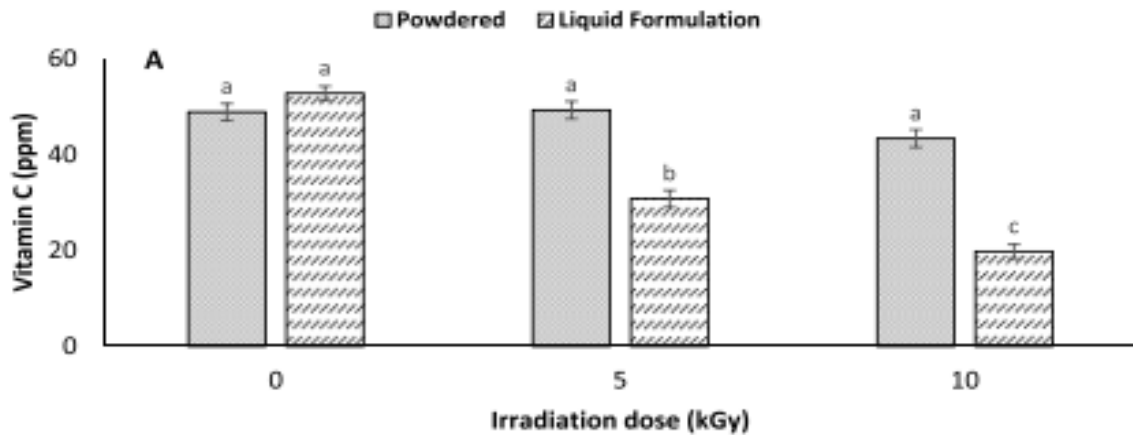
Les pertes de vitamine C dépendent également de la nature du produit et de la dose d'irradiation. Il y a une conversion partielle de la vitamine C à l'acide déshydroascorbique lors de l'irradiation. Cependant, la forme déshydro de l'acide ascorbique a également l'activité de la vitamine C dans l'homme. Normalement, aux doses applicables dans l'irradiation des aliments, la perte de cette vitamine n'est pas très élevée (**PM Nair et al ; 2016**).

### 1. 4. Préparations pour nourrissons

Effet de l'irradiation  $\gamma$  sur la valeur nutritionnelle et les activités anti-oxydantes des préparations pour nourrissons ont été étudié par Robichaud et al, 2020 (**Robichaud et al ; 2020**).

Les résultats obtenus ont révélé la diminution de la teneur en vitamine C ainsi que les propriétés antioxydants à partir de la dose 5 kGy dans les formulations liquides.

Cependant, les poudres irradiées, toutefois, il n'y a pas eu de différence significative constatée dans la teneur en vitamine C des échantillons de poudre irradiés, peu importe les doses d'irradiation utilisées. Wang et Chao (2003) ont étudié les effets de l'irradiation de 1,5 à 6 kGy sur la teneur en vitamine C de la pomme et ils ont constaté que la vitamine C était considérablement réduite par l'augmentation des doses d'irradiation. La vitamine C est l'une des vitamines les plus sensibles à l'irradiation, mais la sensibilité est également liée à différents facteurs comme le pH, la présence d'oxygène, etc. (**Dionísio et al ; 2009**). L'utilisation d'un traitement combiné peut réduire la dose nécessaires pour éliminer les agents pathogènes sans affecter la valeur nutritionnelle des aliments (**Hossain et al ; 2014**), (**Lacroix & Ouattara ; 2000**).



**Fig. 4 :** L'effet de la dose d'irradiation  $\gamma$  sur la vitamine C (**Robichaud *et al* ; 2020**).

### 1. 5. Fruits de mangue

Dans cette étude, quatre variétés de manguiers ont été irradiées avec des rayons gamma provenant d'une source de cobalt 60 à différents points de dose de 50 Gy, 100 Gy, 300 Gy et 800 Gy afin d'étudier l'effet l'irradiation sur la vitamine C, l'acidité titrable et la teneur en humidité. Les résultats obtenus indiquent que les échantillons qui sont soumis à des doses de 0,05 KGy et de 0,10 KGy révèlent une teneur moyenne en vitamine C de 6,88% et 6,27 % respectivement, tandis les échantillons qui sont soumis à la dose de 0,30 KGy n'a montré aucune perte ou gain de vitamine C. Par contre, la dose de 0,80 KGy a entraîné une perte de 56,25 % de cette vitamine C par rapport à l'échantillon non irradié ou témoin. Mais ils ont remarqué un retard du murissement au niveau de ces échantillons ainsi la fermeté est préservée jusqu'à 14 jours après la récolte (**M. Idodo *et al* ; 2017**).

Ceci est en accord avec les conclusions de **Mitchell, 1992**, qui ont montré qu'à de faibles doses de 0,3 à 0,75 kGy, l'irradiation des aliments détruit jusqu'à 11 % de la vitamine C dans les fruits avant le stockage, et jusqu'à 79 % de la vitamine C après trois semaines de stockage. Mais c'est peu par rapport aux vitamines perdues dans les aliments transformés et les aliments pourris. Egalement, ces résultats concordent avec ceux de **Youssef *et al* ; 2002**, qui ont observé que l'irradiation gamma des fruits de mangue à des doses de 0,5 et 2,0 kGy entraînait une augmentation de la teneur en acide ascorbique qui peut avoir été influencée par la combinaison de la radiation et de la qualité du fruit.



## 2. Conclusions acquises par de nombreux travaux scientifiques

L'irradiation peut modifier la teneur de certaines vitamines dans les aliments et les vitamines A, B1, C et E sont les plus sensibles, principalement en raison des radicaux libres générés par l'irradiation. Selon certaines études comme citées précédemment, les réactions des radicaux libres entraînent la conversion partielle de l'acide ascorbique en acide déshydroascorbique, qui contribue à l'activité totale de la vitamine C. L'irradiation diminue généralement la teneur en vitamine C dans des aliments végétaux, bien que des augmentations de ce composé aient également été induites par l'irradiation dans quelques fruits. La diminution de la vitamine C est généralement faible (<10%) à faible dose d'irradiation (<1 kGy) et peut être vu immédiatement après l'application de l'irradiation (**A. Prakash *et al* ; 2016**). Cette diminution est également influencée par la température et l'exposition à l'oxygène (**A. Prakash *et al* ; 2000**). Dans les aliments végétaux à faible teneur en vitamines C, de faibles doses d'irradiation peuvent provoquer la perte totale de cette vitamine, comme il a été observé dans les concombres, certaines variétés de pommes et les nectarines traitées à 0,075 et 0,3 kGy. Mais pour la plupart des fruits et légumes, la teneur en vitamine C n'est pas modifiée par une dose d'irradiation inférieure ou égal à 1 kGy, comme indiqué pour les litchis (*Litchi chinensis*), certaines variétés de mandarines (**Ornelas-Paz, J.J *et al* ; 2017**), (**C. Rojas-Argudo *et al.*, 2012**), les papayes (**Figueiredo *et al* ; 2014**), (**Rashid, M.H.A *et al* ; 2015**), les papayes (**Figueiredo *et al* ; 2014**), (**Rashid, M.H.A *et al* ; 2015**), certaines variétés de mangues (**Naresh. K *et al* ; 2015**), les kakis et certains légumes ayant subi une transformation minimale. À des doses d'irradiation comprises entre 1 et 6 kGy, les fruits comme le jujube et les châtaignes peuvent perdre jusqu'au 18 à 47% de leur teneur en vitamine C (**Anuradha P *et al* ; 2019**).

Cependant, l'impact de l'irradiation sur la vitamine E a fait l'objet de peu d'attention, probablement en raison de la très faible quantité de cette vitamine dans la majorité des fruits et légumes (**Golding J.B *et al* ; 2014**).

Les preuves existantes sont souvent contradictoires, ce qui rend difficile une déclaration générale à cet égard. Toutefois, on sait que la vitamine E est sensible à l'énergie ionisante et que cette sensibilité dépend de la température, de l'oxygène, de la dose de rayonnement et du type de produit. Les doses d'irradiation inférieures à 1 kGy n'affectent pas la teneur en  $\alpha$ -tocophérol ou provoquent de légères augmentations, à quelques exceptions, comme les tomates, qui peuvent perdre jusqu'à 40 % de leur teneur en tocophérol à des doses de 1 kGy.

Par contre, les mandarines font l'exception, car elles perdent de petites quantités de  $\alpha$ -tocophérol immédiatement après leurs soumissions à des doses d'irradiation de 0,15, 0,4 et de 1 kGy. Concernant les épinards, ils perdent 10 % de leur teneur en tocophérol à des doses de 2 kGy. La diminution du tocophérol due à l'irradiation a été expliquée en termes de la réaction entre le tocophérol et les radicaux radio-induits (**Mallegol .J et al ;2001**).

La thiamine est très sensible à l'irradiation, selon de nombreuses études menées dans les viandes (**Roberts et al ; 2015**). Cependant, il existe peu d'informations sur l'impact de l'irradiation sur le contenu de cette vitamine et d'autres vitamines contenues dans les fruits et légumes. Traitement des céréales (pois chiches, haricots, et les lentilles) à faible dose d'irradiation (0,25-1 kGy) augmente la teneur en thiamine et en riboflavine, en particulier celle de la riboflavine. L'augmentation de la teneur en riboflavine par une faible irradiation (0,75 kGy) a également été signalée chez les papayes. Cependant, des doses d'irradiation élevées (5 et 10 kGy) peuvent provoquer des modifications importantes de la thiamine et de la riboflavine dans les haricots (**Aylangan et al ; 2017**). Dans le jujube, l'irradiation à 0,5-5 kGy entraîne des diminutions significatives, dépendantes de la dose, des teneurs en acide pantothénique (6 %-11 %), en pyridoxine (2,5 %-27 %), en thiamine (21 %-63 %) et en acide folique (4 %-6 %). (6 %-28 %), tandis que la biotine et la riboflavine présentent des diminutions mineures (10 %). Dans les feuilles de jujube (*Zizipus mauritania*), mais la niacine, la thiamine et la riboflavine ne sont pas modifiées par des doses d'irradiation de 2,5 à 12,5 kGy, ce qui suggère que le type d'aliment végétal a une incidence sur la sensibilité de vitamines à l'irradiation (**Aylangan et al ; 2017**).

## Conclusion générale

Dans le domaine de la conservation des aliments, l'irradiation est considérée comme une technologie sûre et efficace pour une gamme d'applications précises. Elle permet de :

→ ralentir la dégradation du produit

En empêchant la germination des bulbes et tubercules ou en réduisant les populations d'insectes et de micro-organismes (bactéries, levures, moisissures) responsables de la dégradation ou de la maturation naturelle de l'aliment.

→ augmenter les qualités hygiéniques de l'aliment :

- en détruisant les micro-organismes et les insectes présents dans les fruits secs, les céréales et les légumes

- en éliminant les bactéries pathogènes présentes dans les épices et les volailles ainsi que les vers parasites de certaines viandes : bactéries comme *les Salmonella spp* ou les *Listeria monocytogènes*, ou vers de type *Trichinella spiris* ou *Taenia soliu* .

Mais malgré la sûreté de cette technique elle peut causer des modifications pouvant influencer sur la valeur nutritive des produits traités telle que la dégradation des vitamines qui sont des substances indispensables à l'organisme. Leurs fonctions sont variées, ils interviennent dans de nombreuses réactions nécessaires à la vie. Leurs déficits peuvent engendrer des répercussions sur l'état de santé des personnes qui en souffrent.

En général, presque toutes les méthodes de transformation et de préparation des aliments entraînent une certaine perte d'éléments nutritifs. Comme dans le cas des autres réactions chimiques produites par irradiation, ces modifications nutritionnelles sont principalement liées à la dose. La consommation des aliments et d'autres facteurs tels que la température et la présence ou l'absence d'air, influent aussi sur la perte de nutriments.

Certaines vitamines, la riboflavine, la niacine et la vitamine D sont relativement peu sensibles à l'irradiation. D'autres sont plus facilement détruites, par exemple les vitamines A, B1, E et K. On connaît mal l'effet de l'irradiation sur l'acide folique et les observations sont contradictoires en ce qui concerne l'effet sur la vitamine C contenue dans les fruits et les légumes.

De plus, comme de nombreux aliments irradiés sont cuits avant utilisation, il faut tenir compte de la perte cumulée de vitamines résultant à la fois du traitement et de la cuisson.

L'ionisation peut être améliorée par exemple par l'utilisation d'atmosphère contrôlée pour appliquer une dose plus faible. En effet, les doses élevées ne peuvent être employées que sur des produits à l'état solide, déshydratés ou congelés pour éviter les modifications de l'aspect et des qualités organoleptiques. Les tendances actuelles sont donc à l'association de plusieurs procédés .

Comme avantage, cette technique ne générerait pas de résidus comme certains traitements chimiques utilisés pour détruire insectes ou bactéries. Enfin la norme générale préconisée par le Codex pour les denrées alimentaires à irradier ne doit pas être supérieure à 10 kGy.

## Références bibliographique



**Abraham J ; 1991 :** Sensibilité des vitamines aux agressions physico-chimiques. Cah Nutr Diet 26 ;15-18 .

**Al-Drouby HAL;1983:** Oral leukoplakia and cryotherapy. Br J Dent; 155:124 5.

**Anonyme ; 2004 :** Morbidité et mortalité dues aux maladies infectieuses d'origine alimentaire en France. Rapport INVS/Afssa.

**Anuradha Prakash, Jose de Jesús, Ornelas-Paz ; 2019 :** Irradiation of Fruits and Vegetables Schmid College of Science and Technology, Chapman University, Mexico.

**Audette-Stuart M, Houee-Levin C, Potier M ; 2005:** Radiation-induced protein fragmentation and inactivation in liquid and solid aqueous solutions. Role of OH and electrons. *Radiat. Phys. Chem.* 72:301-306.

**Ayca Aylangan, Erhan IC, Berna Ozyardimci; 2017:** Investigation of gamma irradiation and storage period effects on the nutritional and sensory quality of chickpeas, kidney beans and green lentils, Food control.



**Boussaha A ; 1987 :** Irradiation des aliments. Perspectives d'application en Algérie. *Annales de l'Institut National Agronomiques.*



**Calado T, Venancio A, Abrunhosa L ; 2014 :** Irradiation for mold and mycotoxin control : a review. *Compreh. Rev. Food Sci. Food Safety*, 13: 1049-1061.

**Chandni Praveen, Brooke A, Dancho, David H, Kingsley, Kevin R, Calci, Gloria K, Meade, Kristina D, Mena et Suresh D, Pillai ; 2013 :** Susceptibility of Murine Norovirus and Hepatitis A Virus to Electron Beam Irradiation in Oysters and Quantifying the Reduction in Potential Infection Risks .

**Choe E, Min DB ;2005:** Chemistry and reactions of reactive oxygen species in foods. *J. Food. Sci.* 70: R142-R159.

**Clinquart A ; 2005 :** Les techniques de conservation des aliments. Sur le site de l'Université de Liège. Faculté de Médecine vétérinaire.

## D

**Desmots M.H, Strasser A, Hasselmann C, Marchioni E, Hausser F ; 2001 :** Les traitements ionisants des aliments. *In* : FEDERIGHI M. & THOLOZAN J.L. (eds) : Traitements ionisants et hautes pressions des aliments, Polytechnica, Paris, 21-149.

**DHHS. (Department of Health and Human Services). 2005** Irradiation in the Production, Processing, and Handling of Food. FDA. 21 CFR Part 119. Federal Register Vol. 70, No. 157.

**Dionisio A.P, Gomes R. T, Oetterer M ; (2009):** Ionizing radiation effects on food vitamins, *Brazilian Archives of Biology and Technology*.

## E

**EFSA; 2005:** Opinion of the Scientific Panel on food additives, flavourings, processing aids and materials in contact with food (AFC) on a request from the Commission related to Treatment of poultry carcasses with chlorine dioxide, acidified sodium chlorite, trisodium phosphate and peroxyacids. *The EFSA Journal* 297: 1-27.

## F

**Fan X ; 2005:** Impact of ionizing radiation and thermal treatments on furan levels in fruit juices. *J. Food Sci.* 70: E409-E414.

**Fan X , Sommers CH ; 2006 :** Effect of gamma radiation on furan formation in ready-to-eat products and their ingredients. *J. Food Sci.* 71: C407-C412, 2006.

**Federighi M ; 2019 :**Les rayonnements ionisants comme method de preservation des aliments Etat de l'art .*Rev.Med.Vet* ; 4-6.

**Ferrando R, Mainguy R.1970.** Lévolution des vitamines en fonction des condition de récolte et de conservation des denrées primaires des animaux destinés a la consommation de l'homme *Annale de la nutrition et de l'alimentation* B445-B474.

**Figueiredo S.G , Silva-Sena G.G, de Santana E.N, dos Santos R.G, Oiano Neto J, de Oliveira C.A ; 2014 :** Effect of gamma irradiation on carotenoids and vitamin C contents of papaya fruit (*Carica papaya* L.) Cv. Golden. *Food Process. Technol.* 5 (6), 1–5.

## G

**Guilland JC, Lequeu B ; 2009** : Encyclopédie des vitamines - Du nutriment au médicament - Volume 1 : données fondamentales, métabolismes et fonctions. Paris : Edition Tec & Doc - Lavoisier, 847p

**Gallien L ; (1966)** : Principe de l'ionisation : effets physiques, chimiques et biologiques. Paris ,1-19 et 57 -59.

**Gadgil P, Smith JS, Hachmeister KA, Kropf DH ; 2005**: Evaluation of 2-dodecylcyclobutanone as an irradiation dose indicator in fresh irradiated ground beef. *J. Agric. Food Chem.* 53:1890-1893.

**Guilland J-C ;1992** : Vitamines dans la pratique médicale de tous les jours.

**Guilland J-C ; 1992** : Lequeu B. Les vitamines : du nutriment au médicament. Cachan, Ed médicales internationales.

**Golding, J.B , Blades B.L, Satyan S, Jessup A.J, Spohr L.J , Harris A.M, Banos C, Davies J.B, 2014** : Low dose gamma irradiation does not affect the quality, proximate or nutritional profile of 'Brigitta' blueberry and 'Maravilla' raspberry fruit. *Postharvest 67Biol. Technol.* 96 (Suppl. C), 49–52.

## H

**Houser TA, Sebranek JG, Maisonet WN, Cordray JC, Wiegand BR, Ahn DU, Lee EJ; 2005** : The effects of irradiation at 1.6 kGy on quality characteristics of commercially produced ham and pork frankfurters over extended storage. *J. Food Sci.* 70: S262-S265.

**Horvatovich P, Miesch M, Hasselmann C, Delincée H, Marchioni E ; 2005**: Determination of monounsaturated alkyl side chain 2-alkylcyclobutanone in irradiated foods. *J. Agric. Food Chem.* 53:5836-5841.

**Hallman G.J; 2013**: Control of stored product pests by ionizing radiation. *J. Stor. Prod. Res.* 52, 36-41.

**Hossain F, Follett P, Vu K.D, Salmieri S, Senoussi C, Lacroix M; 2014** : Radiosensitization of *Aspergillus niger* and *Penicillium chrysogenum* using basil essential oil and ionizing radiation for food decontamination, *Food Control.*

## I

**Idodo Maxwell<sup>1</sup>, Ali Haruna<sup>1</sup>, Danladi Eli ; 2017:** Effect of Irradiation on Vitamin C, Acidity and Moisture Content of Mango Fruits with Gamma Ray from Cobalt-60 Source, Asian Journal of Physical and Chemical Sciences.

## J

**J. Mallegol, D.J. Calsson, L. Deschenes ; 2001:** Poste irradiation reaction in vitamin E stabilised and unstabilised HDPE. Nuclear instruments and methods in physics recherche B 185 (2001) 283-293.

**Jo C, Lee A.Y, Kang H, Hong S, Kim Y.H , Kim H.J, Byun M.W ; 2005:** Radio-sensitivity of pathogens in inoculated prepared foods of animal origin. *Food Microbiol.*, 22, 329-336.

## K

**Kanatt SR, Chander R, Sharma A; 2006:** Effect of radiation processing of lamb meat on its lipids. *Food Chem.* 97: 80-86.

**Keila dos Santos Cople Lima, Luciana Boher Souza, Ronoel Luiz de Oliveira Godoy, Tanos Celmar Costa Franc, Antonio Lui dos Santos Lima; 2011 :** Effect of gamma irradiation and cooking on cowpea bean grains, *Radiation Physics and Chemistry* 80- 983–989.

**Kyoung-Heekim, Hong-SunYook; 2009 :** Effect of gamma irradiation on quality of kiwi fruit.

## L

**Lacroix M, & Ouattara B ; 2000 :** Combined industrial processes with irradiation to assure innocuity and preservation of food products, *Food Research International*.

**Le Moël G, Saverot-Dauvergne A, Gousson T, Guéant J-L ;1998 :** Le statut vitaminique : physiopathologie, exploration biologique et intérêt clinique. Cachan, Ed médicales internationales.

**Lemoine A, Le Devehat C, Herbeth B , Nutr Metab A ;1986 :** Enquêtes sur le statut vitaminique de trois groupes d'adultes français, témoins, obèses et buveurs excessifs.

*Annals of nutrition and metabolism.* 30 : 1-94



## M

**Magda S, Taipina , Leda C.A, Lamardo, Maria A.B, Rodas, Nelida L.del Mastro; 2009:** The effects of gamma irradiation on the vitamin E content and sensory qualities of pecan nuts (*Carya illinoensis*). *Radiation Physics and Chemistry* 78 (2009) 611-613.

**Martin A ; 2001 :** Apports nutritionnels conseillés pour la population française. 3ème édition. Paris : Edition Tec & Doc - Lavoisier, 605p

**Médart J ; 2009 :** Manuel pratique de nutrition : l'alimentation préventive et curative.Bruxelles, De Boeck.

**Michèle Le Bar, Annik Bouroche ; 1998 :** Food irradiation : English-German Vocabulary Edition Quae .

**Miekka S.I , Fornng R.Y , Rohwer R.G, Macauley C, Stafford R.E, Flack S.L , Macphee M, Kent R.S , Drohan W.N ; 2003 :** Inactivation of viral and prion pathogens by  $\gamma$ -irradiation under conditions that maintain the integrity of human albumin. *Vox Sanguinis*, 84, 36-44.

**Mitchell GE; 1992 :** Effect of low dose irradiation on composition of tropical fruits and vegetables. *Journal of Food Composition and Analysis*.

## N

**Naresh K , Varakumar S , Variyar PS , Sharma A , Reddy OVS ; 2015 :** Effect of  $\gamma$ -irradiation on physico-chemical and microbiological properties of mango (*Mangifera indica* L.) juice from eight Indian cultivars. *Food Biosci.* 12 (Suppl. C), 1-9.

**Niemira BA , Fan X , Sokorai K J B , Sommers C H ; 2003 :** Ionizing Radiation Sensitivity of *Listeria monocytogenes* ATCC 49594 and *Listeria innocua* ATCC 51742 Inoculated on Endive (*Cichorium endiva*). *J. Food Protect.*, 66, 991-998.

## O

**Obana H , Furuta M , Tanaka Y ; 2006 :** Detection of 2-alkylcyclobutanone in irradiated meat, poultry and egg after cooking. *J. Health Sci.* 52: 375-382.

**OMS ;1989 :** L'irradiation des produits alimentaire. Organisation Mondiale de la Santé, Genève.

**OMS ; 1995 :** Les produits alimentaires ionisés : salubrité et valeur nutritive. Organisation Mondiale de la Santé, Genève.

**Ornelas-Paz J.J , Meza M.B , Obenland D , Rodri'guez K , Jain A, Thornton S, Prakash A ; 2017.** Effect of phytosanitary irradiation on the postharvest quality of seedless Kishu mandarins (Citrus kinokuni mukakukishu). Food Chem. 230, 712–720.

## P

**Prakash A, Guner A.R, Caporaso F, Foley D.M ; 2000 :** Effects of low-dose gamma irradiation on the shelf life and quality characteristics of cut Romaine lettuce packaged under modified atmosphere. J. Food Sci. 65 (3), 549-553.

**Prakash A; 2016:** Particular applications of food irradiation fresh produce. Radiat. Phys. Chem. 129 (Suppl. C), 50–52.

**Prakash Anuradha , Jose de Jesu's , Ornelas-Paz ; 2019:** Irradiation of Fruits and Vegetables. Schmid College of Science and Technology, Chapman University, One University Drive, Orange, CA, United States

**PM Nair and Arun Sharma ; 2016:** Food Irradiation, Bhabha Atomic Research Center, Mumbai, India, Elsevier Inc.

**Pohle S, Ernst R, Mackenzie C, Spicher M, Romig T, Hemphill A, Gripp S ; 2011:** *Echinococcus multilocularis*: The impact of ionizing radiation on metacestodes. *Exp. Parasitol.*, 127, 127-134.

## R

**Rashid M.H.A, Grout B.W.W, Continella A, Mahmud T.M.M ; 2015:** Low-dose gamma irradiation following hot water immersion of papaya (*Carica papaya* Linn.) fruits provides additional control of postharvest fungal infection to extend shelf life. Radiat. Phys. Chem. 110, 77–81.

**Roberts P.B, Henon Y.M ; 2015:** Consumer response to irradiated food: purchase versus perception. Stewart Postharvest Rev. 11 (3), 1–6.

**Robichaud V, Bagheri L, Aguilar-Uscanga B.R, Millette M, Lacroix M ; 2020:** Effect of  $\gamma$ -irradiation on the microbial inactivation, nutritional value, and antioxidant activities of infant formula, *LWT - Food Science and Technology*, Canada 2020)

**Rojas-Argudo, C, Palou L, Bermejo A, Cano A, del Rio M.A, Carmen Gonzalez-Mas M ; 2012:** Effect of X-ray irradiation on nutritional and antifungal bioactive compounds of 'Clemenules' clementine mandarins. *Postharvest Biol. Technol.* 68 (Suppl. C), 47–53.

## S

**SCF; 2003:** Revision of the opinion of the Scientific Committee on Food on the irradiation of food (expressed on 4 April 2003).

**Sin DW-M, Wong YC, Yao MW-Y; 2006 :** Application of pentafluorophenyl hydrazine on detecting 2-dodecylcyclobutanone and 2-tetradecylcyclobutanone in irradiated chicken, pork and mangoes by gas chromatography-mass spectrometry. *Eur. Food Res. Technol.* 222: 674-680, 2006.

**Souverain R ; 1977 :** French legislation on food irradiation; licensing procedure.

## V

**Vanamata J, Cobb G, Turner ND, Lupton JR, Yoo KS, Pike LM, Patil BS; 2005:** Bioactive compounds of grapefruit (*Citrus paradisi* cv. rio red) respond differently to postharvest irradiation, storage, and freeze frying. *J. Agric. Food Chem.* 53: 3980-3985.

## W

**WHO ; 1999 :** High-dose Irradiation : Wholesomeness of food irradiated with doses above 10 kGy. WHO Technical Report Series No. 890, Geneva.

**WHO ; 1994 :** Safety and Nutritional Adequacy of Irradiated Food. Geneva.

## Y

**Youssef BM, Asker AA, El-Samahy SK ; 2002 :** Combined effect of steaming gamma irradiation on the quality of mango pulp stored at refrigerated temperature, *Food Res.*



## **Annexes 01 :**

### **NORME GÉNÉRALE CODEX POUR LES DENRÉES ALIMENTAIRES IRRADIÉES CODEX STAN 106-1983, REV. 1-2003**

#### **1. CHAMP D'APPLICATION**

La présente norme s'applique aux denrées alimentaires ayant subi un traitement par rayonnement ionisant et utilisées conformément aux codes d'hygiène, aux normes alimentaires et aux codes de transport pertinents. Elle ne s'applique pas aux denrées alimentaires exposées aux rayonnements émis par les instruments de mesure utilisés à des fins d'inspection.

#### **2. PRESCRIPTIONS D'ORDRE GÉNÉRAL**

##### **2.1 Sources de rayonnement**

Les types de rayonnements ionisants suivants peuvent être utilisés : a) Rayons gamma émis par les radionucléides de Co60 ou de Cs137 ; b) Rayons X produits par des appareils émettant des rayonnements d'énergie inférieure ou égale à 5 MeV ; c) Électrons produits par des appareils émettant des rayonnements d'énergie inférieure ou égale à 10 MeV.

##### **2.2 Dose absorbée**

Pour toutes les denrées alimentaires irradiées, la dose absorbée minimale devrait être suffisante pour obtenir le résultat technologique recherché et la dose absorbée maximale devrait être inférieure à celle qui compromettrait la sécurité sanitaire de la denrée alimentaire ou affecterait négativement son intégrité structurelle, ses caractéristiques fonctionnelles ou ses propriétés organoleptiques. La dose maximale absorbée pour une denrée alimentaire ne doit pas être supérieure à 10 kGy, sauf si cela est nécessaire pour obtenir un résultat technologique légitime.

##### **2.3 Installations et contrôle des opérations**

2.3.1 L'irradiation des denrées alimentaires doit être pratiquée dans des installations dûment autorisées et homologuées pour cet usage par l'autorité compétente. 2.3.2 Ces installations doivent être conçues de manière à satisfaire aux critères de sûreté, d'efficacité et d'hygiène applicables en matière de transformation des denrées alimentaires. 2.3.3 L'exploitation des installations doit être assurée par du personnel ayant la formation et les compétences requises. 2.3.4 Le contrôle des opérations à l'intérieur des installations inclut l'établissement de dossiers avec indications dosimétriques quantitatives. 2.3.5 Les autorités compétentes ont le droit d'accéder aux installations et aux dossiers aux fins d'inspection. 2.3.6 Le contrôle doit être exercé conformément aux dispositions du Code d'usages international recommandé pour l'irradiation des denrées alimentaires (CAC/RCP 19-1979, Rév. 1 - 2003).

### **3. HYGIÈNE DES DENRÉES ALIMENTAIRES IRRADIÉES**

3.1 La denrée alimentaire irradiée doit être préparée, transformée et transportée dans des conditions d'hygiène appropriées, conformément aux dispositions du Code d'usages international recommandé -Principes généraux d'hygiène alimentaire (CAC/RCP 1-1969, Rév. 3-1997) et aux sept principes du Système 1 Ionisation à dose élevée : Salubrité des aliments ionisés à des doses supérieures à 10kGy, rapport du groupe d'étude mixte FAO/AIEA/OMS, Rapport technique 890 OMS. Genève, 1999 ; Salubrité et qualité nutritionnelle des aliments irradiés, OMS, Genève, 1994 ; et Sécurité sanitaire des denrées alimentaires irradiées, rapport du Comité mixte d'experts FAO/AIEA/OMS, rapport technique 659, OMS, Genève, 1981. d'analyse des risques – Points critiques pour leur maîtrise (HACCP), lorsqu'applicables à des fins de sécurité sanitaire des denrées alimentaires. Au besoin, les exigences techniques relatives aux matières premières et au produit fini doivent être conformes aux codes d'hygiène, aux normes alimentaires et aux codes en matière de transport pertinents. 3.2 Il est nécessaire de respecter toutes les exigences nationales pertinentes en matière de santé publique ayant des répercussions sur la sécurité microbiologique et la qualité nutritionnelle applicables dans le pays dans lequel l'aliment est vendu.

### **4. PRESCRIPTIONS TECHNIQUES**

#### **4.1 Conditions générales**

L'irradiation des denrées alimentaires n'est justifiée que lorsqu'elle permet de satisfaire une exigence technique et/ou lorsqu'elle contribue à la protection de la santé des consommateurs. Elle ne doit pas être utilisée en remplacement des bonnes pratiques d'hygiène et de fabrication ou des bonnes pratiques agricoles.

#### **4.2 Prescriptions relatives à la qualité et au conditionnement des aliments**

Les doses appliquées doivent être fonction des objectifs techniques et de santé publique à atteindre et conformes aux bonnes pratiques en matière d'irradiation. Les denrées alimentaires à irradier et leurs matériaux d'emballage doivent être de bonne qualité, dans un état d'hygiène acceptable et se prêter à l'application de ce procédé et doivent être manipulés, avant et après irradiation, conformément aux bonnes pratiques de fabrication et compte tenu des exigences propres à la technique d'irradiation.

### **5. IRRADIATION RÉPÉTÉE**

5.1 À l'exception des denrées alimentaires dont la teneur en eau est faible (céréales, légumineuses à graines, aliments déshydratés, etc.), qui ont été irradiés afin d'empêcher la réinfestation par les insectes, aucune denrée alimentaire irradiée conformément aux sections 2 et 4 de la présente norme ne doit être soumise à une seconde irradiation. 5.2 Aux fins de la présente norme, une denrée alimentaire n'est pas considérée comme ayant été soumise à une seconde irradiation lorsque : a) l'aliment est préparé à partir de produits déjà irradiés à de faibles doses, dans d'autres buts que ceux de la sécurité sanitaire des aliments, par exemple, quarantaine et prévention de la germination des racines et tubercules ; b) on irradie une denrée alimentaire qui contient moins de 5 pour cent d'ingrédients irradiés ; ou c) la dose totale de rayonnements ionisants nécessaire pour obtenir l'effet souhaité est appliquée à l'aliment en plusieurs doses successives croissantes, dans le cadre d'un traitement ayant une fonction technologique donnée. 5.3 La dose maximale cumulative absorbée par une denrée alimentaire ne doit pas dépasser 10 kGy après la seconde irradiation, sauf quand cela est nécessaire pour obtenir un résultat technologique légitime, et ne doit pas compromettre la sécurité des consommateurs ou la salubrité de la denrée alimentaire.

### **6. VERIFICATION POST-IRRADIATION**

S'il y a lieu et lorsqu'il le faut, la détection des denrées alimentaires irradiées peut se faire grâce à des méthodes d'analyse, afin de respecter les exigences en matière

d'autorisation et d'étiquetage. Il doit s'agir des méthodes d'analyse adoptées par la Commission du Codex Alimentarius.

## **7. ÉTIQUETAGE**

### **7.1 Tenue des stocks**

Les documents d'expédition des denrées alimentaires irradiées, préemballées ou non, doivent contenir des renseignements permettant d'identifier l'installation homologuée ayant procédé à l'irradiation de la denrée alimentaire, les dates du traitement et le numéro d'identification du lot.

### **7.2 Aliments préemballés destinés à la consommation directe**

L'étiquetage des aliments irradiés préemballés doit indiquer le traitement subi et être conforme en tout point aux dispositions de la Norme générale Codex pour l'étiquetage des denrées alimentaires préemballées (CODEX STAN 1-1985, Rév. 1-1991).

### **7.3 Denrées alimentaires transportées dans des conteneurs en vrac**

Le fait que les denrées alimentaires ont été irradiées doit être clairement indiqué dans les documents d'expédition pertinents. Dans le cas des produits vendus en vrac au consommateur final, le logo international et les expressions « irradié » ou « ayant subi un rayonnement ionisant » doivent apparaître aux côtés du nom du produit sur le contenant dans lequel le produit a été placé.



## Annexes 02

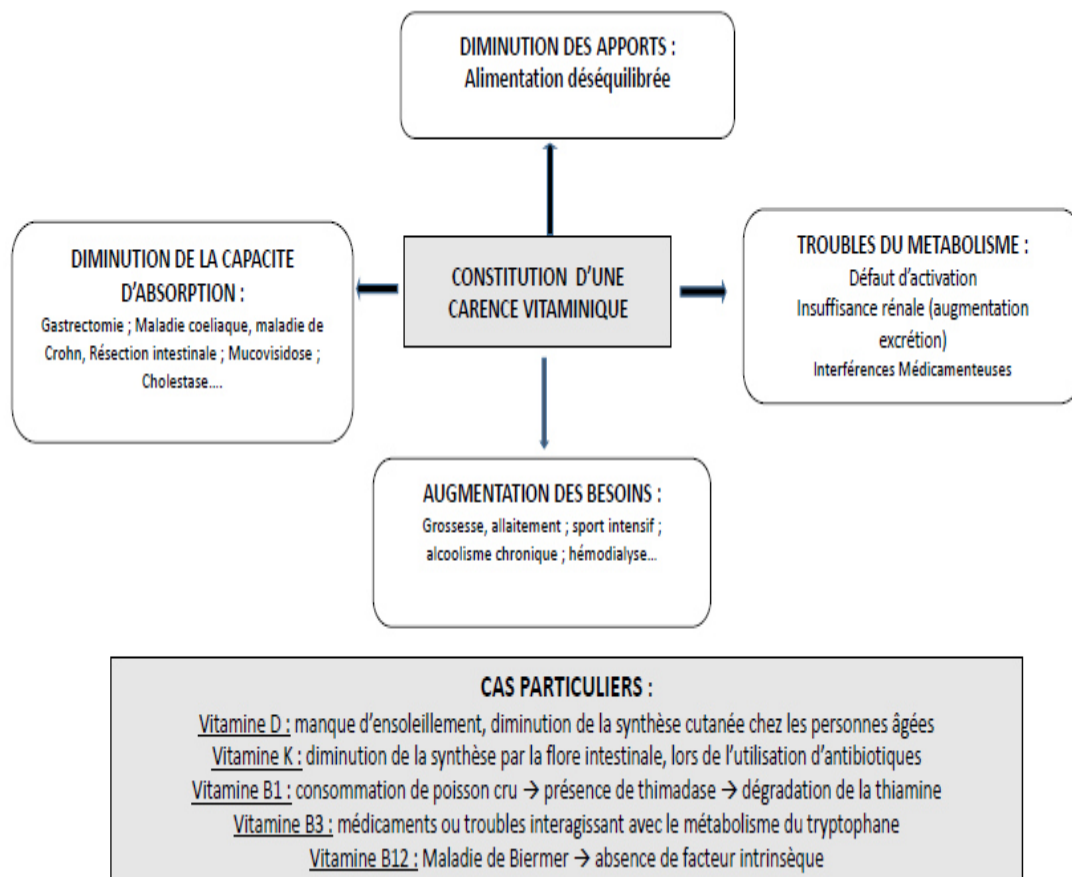
### A : Apports journaliers conseillés en vitamines liposolubles<sup>11</sup>

<b>Populations</b>	<b>A totale</b> (en µg/j)	<b>E tocophérol</b> (en mg/j)	<b>D cholécalciférol</b> (en µg/j)	<b>K phylloquinone</b> (en µg/j)
<b>Nourrissons</b>	350	4	20-25	5-10
<b>Enfants 1-3 ans</b>	400	6	10	15
<b>4-6 ans</b>	450	7,5	5	20
<b>7-9 ans</b>	500	9	5	30
<b>10-12 ans</b>	550	11	5	40
<b>Adolescents 13-15 ans</b>	700	12	5	45
<b>Adolescentes 13-15 ans</b>	600	12	5	45
<b>Adolescents 16-19 ans</b>	800	12	5	65
<b>Adolescentes 16-19 ans</b>	600	12	5	65
<b>Hommes adultes</b>	800	12	5	45
<b>Femmes adultes</b>	600	12	5	45
<b>Personnes âgées ≥ 75 ans</b>	700 (H) 600 (F)	20-50	10-15	70
<b>Femmes enceintes</b>	700 3ème trimestre	12	10	45
<b>Femmes allaitantes</b>	950	12	10	45

## B : Apports journaliers conseillés en vitamines hydrosolubles

Populations	C* acide ascorbique (en mg/j)	B1 thiamine (en mg/j)	B2 riboflavine (en mg/j)	B3-PP niacine (en mg/j)	B5 acide pantothénique (en mg/j)	B6 pyridoxine (en mg/j)	B8 biotine (en µg/j)	B9 acide folique (en µg/j)	B12 cobalamines (en µg/j)
Nourrissons	50	0,2	0,4	3	2	0,3	6	70	0,5
Enfants 1-3 ans	60	0,4	0,8	6	2,5	0,6	12	100	0,8
4-6 ans	75	0,6	1	8	3	0,8	20	150	1,1
7-9 ans	90	0,8	1,3	9	3,5	1	25	200	1,4
10-12 ans	100	1	1,4 (G) 1,3 (F)	10	4	1,3	35	250	1,9
Adolescents 13-15 ans	110	1,3	1,6	13	4,5	1,6	45	300	2,3
Adolescentes 13-15 ans	110	1,1	1,4	11	4,5	1,5	45	300	2,3
Adolescents 16-19 ans	110	1,3	1,6	14	5	1,8	50	330	2,4
Adolescentes 16-19 ans	110	1,1	1,5	11	5	1,5	50	300	2,4
Hommes adultes	110	1,3	1,6	14	5	1,8	50	330	2,4
Femmes adultes	110	1,1	1,5	11	5	1,5	50	300	2,4
Personnes âgées 75 ans	120	1,2	1,6	14 (H) 11 (F)	5	2,2	60	330-400	3
Femmes enceintes	120	1,8	1,6	16	5	2	50	400	2,6
Femmes allaitantes	130	1,8	1,8	15	7	2	55	400	2,8

## Annexes 03 :



**Figure 05 : Principales étiologies des carences vitaminiques**

## Résumé

La conservation de la nourriture a toujours été une préoccupation importante pour l'Homme. Des méthodes le permettant sont régulièrement apparues au cours des siècles, parmi lesquelles l'irradiation. L'ionisation des aliments consiste à exposer les denrées alimentaires à un rayonnement d'énergie suffisante mais cette dernière peut engendrer des effets pervers sur l'aliment notamment les vitamines et parmi les plus sensibles la vitamine A, B1, C et E selon plusieurs études réalisées dans cette axe de recherche, principalement en raison des radicaux libres générés par l'irradiation. Cependant, certains résultats révèlent l'augmentation de la teneur en vitamine dans quelques fruits et légumes. Mais l'irradiation peut être améliorée par l'utilisation d'une atmosphère contrôlée pour appliquer une dose plus faible et le respect de la norme préconisée par le Codex Alimentaire est imposé ( $\leq 10$  kGy).

**Mots-clés :** conservation des aliments, l'irradiation, vitamines.

## Abstract

The preservation of food has always been an important concern for mankind. Methods allowing this have regularly appeared over the centuries, including irradiation. Food irradiation consists in exposing foodstuffs to radiation of sufficient energy, but this can have perverse effects on the food, especially vitamins and among the most sensitive vitamins A, B1, C and E according to several studies carried out in this line of research, mainly because of the free radicals generated by irradiation. However, some results show an increase in the vitamin content in some fruits and vegetables. But irradiation can be improved by using a controlled atmosphere to apply a lower dose and compliance with the standard recommended by the Food Codex is required ( $\leq 10$  kGy).

**Keywords:** food conservation, irradiation, vitamins